

汽轮机润滑油进水原因分析及处理措施

李媛媛

河北西柏坡发电有限责任公司，河北 石家庄 050400

[摘要]汽轮机润滑油系统是保障机组稳定运行的关键组成部分，润滑油进水会引发调节保安系统波动、金属零件锈蚀磨损、润滑油性能劣化及润滑能力下降等严重问题，甚至导致机组非计划停机。文中以河北西柏坡发电有限责任公司 #1-#6 机组为研究对象，结合油质化验数据，深入分析不同机组润滑油进水的根本原因，针对性制定处理方案，为同类机组解决润滑油进水问题提供技术支撑。

[关键词]汽轮机；润滑油进水；原因分析；处理措施

DOI: 10.33142/ucp.v2i5.17928

中图分类号: TK474.7

文献标识码: A

Analysis and Treatment Measures for Water Ingress of Turbine Lubricating Oil

LI Yuanyuan

Hebei Xibaipo Power Generation Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050400, China

Abstract: The lubricating oil system of the steam turbine is a key component to ensure the stable operation of the unit. The inflow of lubricating oil can cause serious problems such as fluctuations in the regulation and security system, corrosion and wear of metal parts, deterioration of lubricating oil performance, and decreased lubrication capacity, and even lead to unplanned shutdown of the unit. The article takes Units # 1- # 6 of Hebei Xibaipo Power Generation Co., Ltd. as the research object, and combines oil quality test data to deeply analyze the root causes of lubricating oil water ingress in different units. Targeted treatment plans are formulated to provide technical support for solving the problem of lubricating oil ingress in similar units.

Keywords: steam turbine; lubricating oil entering the water; cause analysis; treatment measures

1 汽轮机润滑油进水的危害

1.1 影响调节保安系统

调节保安系统承担汽轮机转速调节、负荷控制及紧急停机保护功能，其灵敏性直接决定机组运行安全。当润滑油混入水分，因水与油互不相溶且密度差异，细小水滴难以分离，易形成乳化液并产生泡沫，空气随泡沫进入调节系统。由于空气易压缩、易膨胀，会导致调节系统油压波动，引发调节阀门开度不稳定，造成机组转速摆动、负荷波动，恶化调节性能。

同时，水分与调节保安系统的金属部件（如调节阀门、活塞、弹簧）接触，会引发电化学腐蚀，生成的锈蚀产物附着在部件表面，缩小配合间隙、增大运动阻力，严重时导致部件动作卡涩^[1]。若机组出现异常工况需紧急停机，保安机构因卡涩无法及时响应，可能引发设备损坏甚至安全事故。

1.2 零件锈蚀磨损

汽轮机的转子、轴瓦、轴承箱、回油管道等核心部件均为金属材质，长期处于润滑油浸泡与循环环境中。当润滑油进水后，水分与空气在油系统内形成有氧水环境，会加速金属部件的锈蚀进程——金属表面与氧气、水分发生电化学反应，生成以氧化铁为主的铁锈。在润滑油系统中，锈蚀现象多集中在轴瓦回油线、轴承箱内壁、管道弯头等

处，这些区域润滑油流速较慢，水分与金属表面接触时间更长，锈蚀风险更高。

轴瓦回油线中生成的铁锈多为微米级细小颗粒，这类锈粒在润滑油中难以沉淀，会随油流循环遍布整个油系统。当含有锈粒的润滑油流经轴瓦、转子等高速摩擦副时，锈粒会充当“磨料”，加剧摩擦面的磨损：轴瓦乌金层可能出现剥落，转子轴颈表面会产生划痕，严重时会破坏油膜形成条件，导致干摩擦事故。同时，空气、水分子与锈粒子的共同作用，会加速润滑油的氧化反应，进一步缩短润滑油使用寿命；锈蚀产生的酸性物质还会对金属部件造成二次腐蚀，形成“锈蚀-磨损-再锈蚀”的恶性循环，显著降低汽轮机的设备寿命。

1.3 缩短润滑油使用寿命

汽轮机润滑油由基础油和抗氧剂、抗磨剂、防锈剂、破乳剂等添加剂组成，添加剂的稳定性直接决定润滑油性能。润滑油进水后，部分添加剂遇水水解生成无活性物质；部分以胶束状悬浮的添加剂遇水后结构破坏、发生沉淀；还有部分水溶性添加剂溶解于水并随水分流失，导致润滑油抗氧、抗磨、防锈等关键性能大幅下降^[2]。

同时，水分会加快润滑油氧化速度。在高温、氧气、水分及金属催化作用下，润滑油分子发生链式反应，生成酸类、沥青质、胶质等有害物质，使润滑油颜色变暗、酸

值增大、黏度上升。这不仅缩短润滑油使用寿命、增加运维成本，还可能引发油系统堵塞、部件卡涩等故障，影响机组正常运行。

1.4 润滑能力降低

润滑油的核心功能是在摩擦副表面形成稳定油膜，进水后水分会破坏油膜的连续性与稳定性。水的粘度远低于润滑油且与油互不相溶，混入后会降低润滑油整体粘度，使油膜厚度变薄；当含水量达到一定程度，润滑油会发生乳化，形成水包油或油包水的乳化液，失去原有流动性与润滑特性，导致金属部件直接接触摩擦，引发严重磨损。实际运行中，当润滑油含水量达到 0.1% 时，润滑油开始变成白浊状，润滑性能开始下降，运行使用中发现，含水量达到 0.8% 时，轴瓦发生严重磨损。四球试验结果表明，随着含水量增加，抗磨性能逐渐降低，当含水量超过 2.5%，抗磨性能急剧下降，汽轮机油丧失润滑性能^[3]。结果见表 1。

表 1 汽轮机润滑油的抗磨性能

汽轮机润滑油油样含水量/%	0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
钢球磨斑直径/mm	0.308	0.325	0.328	0.322	0.453	1.361

2 油质现状

河北西柏坡发电有限责任公司#1-#6 机组主机、小机润滑油均使用美孚 32 号汽轮机油。#1 机组主机润滑油及空侧密封油自 6 月 18 日起 6 次油化验结果均显示油中有水、不透明，油质不合格，氢侧密封油化验结果均显示合格。#5 机组 5A、5B 小机自 6 月 25 日起 5 次油化验结果均显示油中有水、不透明，油质不合格。#6 机组 6A 小机自 6 月 5 日起 8 次油化验结果均显示油中有水、不透明，油质不合格，6B 小机自去年 12 月 26 日起 28 次油化验结果均显示油中有水、不透明，油质不合格。各机组其它油质化验均合格。

3 原因分析

3.1 #1 机组主机润滑油及空侧密封油进水原因分析

空侧密封油的来油部分来自主机润滑油#5、#6 瓦回油，部分为空侧密封油自循环，几次油化验结果均显示主机润滑油水分大于空侧密封油，所以判断空侧密封油中的水分来自主机润滑油。以下为可能造成#1 机组主机润滑油及空侧密封油进水的原因及分析：

3.1.1 主机润滑油冷油器内漏排查

冷油器为壳管式结构，油侧压力（0.3~0.5MPa）通常高于水侧压力（0.2~0.3MPa），若换热管破损、焊缝开裂或密封垫片老化，会导致油侧与水侧内漏，此时润滑油会泄漏至水侧，使冷却水出现油迹，且润滑油箱油位会明显下降。

技术人员对冷油器运行状态进行检查：一是对冷却水排水口取样检测，未发现油迹；二是连续一周监测主机润滑油箱油位，油位稳定无明显下降。综合判断，排除冷油

器内漏导致进水的可能性。

3.1.2 轴封漏汽进入主机轴承箱分析

汽轮机轴封通过轴封齿与转子间的微小间隙实现密封，若轴封间隙过大、轴封齿磨损或供汽压力过高，会导致漏汽量增加，高温高压蒸汽进入轴承箱后冷凝成水，混入润滑油。

技术人员检查 #1 机组各轴瓦轴封：#1、#3、#4 瓦轴封温度正常，无明显漏汽痕迹；#2 瓦轴封温度高于其他轴瓦，且周围有轻微白雾，漏汽量大于正常机组。查阅检修记录发现，#1 机组上次检修后启动时曾发生汽封碰磨，导致#2 瓦轴封齿磨损、间隙增大（从设计的 0.2~0.5mm 增至 1.0mm 以上）。同时，#2 瓦气密油挡开度与其他机组一致，排除油挡开度不当的影响。综上，#2 瓦轴封漏汽是主机润滑油进水的主要原因。

3.1.3 气密油挡压缩空气中含水量影响分析

气密油挡通过压缩空气形成空气屏障，若压缩空气含水量过高，水分可能进入轴承箱。技术人员检查发现：压缩空气干燥器工作正常，管路排水装置定期排水，空气取样检测含水量符合 GB/T 13277—2016 标准（压力露点≤-20℃）。虽可能含少量水分，但不足以导致润滑油水分显著增加，排除该因素。

3.1.4 汽缸结合面密封不严密排查

若汽缸结合面变形、螺栓紧固不足或密封垫片老化，蒸汽可能泄漏进入轴承箱。技术人员检查发现：结合面无漏汽痕迹，塞尺测量间隙≤0.03mm（设计允许≤0.05mm），螺栓紧固力矩达标，且历次检修均研磨结合面并更换垫片。排除该因素。

3.2 #5、#6 机组小机润滑油进水原因分析

#5、#6 机组均为 600MW 等级汽轮发电机组，其配套的小机（给水泵汽轮机）是驱动给水泵的关键设备，小机的稳定运行直接关系到主机的给水供应。#5 机组的 5A、5B 小机和#6 机组的 6A、6B 小机均出现润滑油进水问题，且具有一定共性，技术人员对小机润滑油系统的关键设备和运行工况进行了全面排查，具体分析如下：

3.2.1 小机冷油器内漏排查

小机冷油器同样为壳管式结构，若内漏会导致冷却水含油、润滑油箱油位下降。技术人员检查：冷却水排水口无油迹，油位稳定，解体检查换热管与垫片无破损老化。排除冷油器内漏因素。

3.2.2 小机轴封漏汽分析

小机轴封的作用与主机轴封类似，用于防止小机汽缸内的蒸汽泄漏。若小机轴封供汽压力过高或轴封间隙过大，会导致漏汽量增加，泄漏的蒸汽进入小机轴承箱后冷凝成水，导致润滑油进水。技术人员检查：轴封无漏汽痕迹，将轴封供汽压力从 0.03~0.05MPa 调至 0.01MPa，运行 24 小时后润滑油水分无明显变化；且小机油挡已改为气密油

挡，能有效阻挡漏汽。排除该因素。

3.2.3 气密油挡压缩空气含水量排查

与#1 机组主机气密油挡的检查方法一致，技术人员对#5、#6 机组小机气密油挡的压缩空气系统进行了检查：①确认压缩空气干燥器工作正常，出口压力露点为-23℃，符合标准要求；②检查压缩空气管路排水阀，运行人员每周定期排水，无积水残留；③对压缩空气取样检测，含水量为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，远低于限值。因此，气密油挡压缩空气中的少量水分不会对润滑油水分含量产生明显影响，可排除这一因素。

3.2.4 汽缸结合面密封不严密排查

技术人员对#5、#6 机组小机汽缸结合面进行了详细检查：①目视观察结合面周围，无蒸汽泄漏痕迹；②使用塞尺测量结合面间隙，均在 0.03mm 以下，符合设计要求；③检查汽缸结合面螺栓紧固力矩，均达到设计值，无松动现象；④历次小修均对结合面进行研磨处理，并更换密封垫片。综合以上检查结果，可排除小机汽缸结合面密封不严密导致蒸汽泄漏进入轴承箱的可能性。

3.2.5 给水泵密封水泄漏分析

给水泵通过密封水系统防止高压水外漏，300MW 机组给水泵转子设计有挡水圈，可阻挡密封水窜入轴承室；而#5、#6 机组（600MW）给水泵转子无挡水圈，且现场检查发现给水泵密封水机械密封处有滴水现象。泄漏的密封水沿转子窜入给水泵轴承室，再通过连通油管混入小机润滑油，导致水分超标。取样化验显示，给水泵轴承室油样水分与小机润滑油一致，证实该因素为根本原因。

4 处理方案

针对河北西柏坡发电有限责任公司#1、#5、#6 机组润滑油进水的不同原因，结合机组的运行计划、设备结构特点及检修周期，制定了针对性强、可操作性高的处理方案，确保在保障机组安全运行的前提下，彻底解决润滑油进水问题。

4.1 #5、#6 机组小机润滑油进水处理方案

4.1.1 给水泵密封水泄漏隔离与改造

针对给水泵密封水泄漏沿转子窜入轴承室的问题，结合机组检修安排，采取临时隔离与长期改造结合的措施：

临时隔离措施：在#5、#6 机组小修期间解体给水泵轴瓦，在密封水套与轴承箱之间加装耐油氟橡胶密封圈。氟橡胶具有良好的耐油性、耐高温性及密封性，能有效阻挡密封水沿转子窜入轴承室。加装时确保密封圈尺寸与密封面贴合紧密，螺栓紧固力矩均匀，防止密封不严。

长期改造措施：若临时加装密封圈后，小机润滑油水分含量明显下降、油质恢格，表明方案有效。在下次机组大修期间，对给水泵芯包进行改造，在转子上增设不锈钢阶梯式挡水环，安装于密封水机械密封与轴承室之间，从根本上阻挡密封水沿转子轴向流动，彻底解决密封水泄漏

导致的润滑油进水问题。改造后的挡水环需进行动平衡试验，确保高速运转时无振动。

4.1.2 小机润滑油箱放水管道优化

现场勘查发现，#5、#6 机组小机润滑油箱放水管道存在两处问题：一是放水管道入口未设在油箱最底部，导致油箱底部积水无法彻底排出，部分水分长期积聚并混入润滑油；二是放水管位置距小机油净化器进油管道过近，油净化器运行时进油管油流扰动，影响油箱底部积水沉降与排放，导致水分难以排出。

针对以上问题，在#5、#6 机组检修期间对放水管道进行优化改造：

调整放水管道入口位置：将放水管道入口延伸至润滑油箱最底部，确保积水彻底排出，避免水分积聚。改造中对管道接口进行密封处理，防止漏油。

调整放水管与油净化器进油管距离：将放水管道向远离油净化器进油管的方向迁移，使两者距离不小于 500mm ，避免油流扰动影响积水排放。同时在放水管道上加装阀门和透明观察窗，方便运行人员定期检查积水情况并及时排水。

4.2 #1 机组主机润滑油及空侧密封油进水处理方案

4.2.1 气密油挡开度调整

针对#1 机组主机#2 瓦处轴封间隙变大导致漏汽的问题，首先通过调整气密油挡开度增强密封效果，阻止轴封漏汽进入轴承箱：逐步增大#2 瓦气密油挡开度，从当前设计开度 5mm 调整至 8mm ，通过增加压缩空气流量和压力，强化空气屏障密封作用，减少轴封漏汽进入轴承箱的量。调整过程中每 4 小时进行一次油质化验，监测主机润滑油及空侧密封油水分含量变化趋势，同时关注轴承箱温度、压力及润滑油油位变化，确保调整不影响机组正常运行。

4.2.2 轴封母管溢汽系统优化

若增大气密油挡开度后，润滑油水分含量仍未明显下降，需降低轴封母管蒸汽压力以减少漏汽量。考虑到直接打开轴封母管溢汽门会导致热量损失、影响机组经济性，制定以下优化方案：

临时措施：打开#1 机轴封母管溢汽门，将高压轴封蒸汽压力从当前 0.08MPa 降至 0.05MPa ，减少轴封漏汽量。同时加强对机组经济性指标的监测，评估热量损失对煤耗的影响。

长期优化措施：对轴封母管溢汽系统进行改造，新增一路溢汽管道，将溢汽引入低压加热器，回收热量以降低能量损失。改造后的溢汽管道设置阀门和调节装置，方便运行人员根据工况调整溢汽量，在保证轴封密封效果的同时，最大限度提升机组经济性。

4.2.3 滤油机滤芯更换

#1 机组主机润滑油滤油机原本未投入滤水功能，发

现润滑油水分超标后虽已投入，但排水量偏小、滤水效果不佳。为提高滤水能力，需更换滤油机聚结滤芯和分离滤芯：选用滤水精度达 $1\mu\text{m}$ 的高效滤芯，按维护规程进行更换，确保滤芯安装牢固、密封良好。更换完成后对滤油机进行试运，检查滤水效果和排水能力，确保其能正常运行，快速降低润滑油水分含量。

5 结束语

通过对河北西柏坡发电有限责任公司#1～#6 机组润滑油进水问题的分析与排查，明确了不同机组润滑油进水的根本原因：#1 机组主机润滑油及空侧密封油进水的主要原因是#2 瓦处轴封因之前的汽封碰磨导致轴封间隙变大，轴封漏汽进入轴承箱后冷凝成水，空侧密封油中的水

分则来自主机润滑油污染；#5、#6 机组小机润滑油进水的根本原因是给水泵密封水泄漏，且因给水泵转子未设计挡水圈，密封水沿转子窜入给水泵轴承室，进而混入小机润滑油中。以上研究对于解决类似问题具有借鉴意义。

[参考文献]

- [1] 王力红.浅谈汽轮机润滑油带水现象[J].煤,2012(1):77-78.
 - [2] 贾晓鸣,冯喜京.汽轮机油中水分的危害及净化[J].润滑油,2003,18(4):63-64.
 - [3] 胡邦喜.设备润滑基础[M].北京:冶金工业出版社,2001.
- 作者简介：李媛媛（1979.2—），女，河北西柏坡发电有限责任公司，从事汽机调速检修工作。