

双流环式密封油系统

常见缺陷原因分析及处理方法

侯建¹ 提福启² 苏中利³ (国电菏泽发电有限公司)

摘要: 介绍了国产 300MW 发电机组双流环式密封油系统常见缺陷, 分析了常见缺陷产生的原因, 提出了解决的方案。

关键词: 密封油; 密封瓦; 空氢侧; 差压阀; 平衡阀

一、双流环式密封油系统简介

按照密封瓦的结构形式, 密封油系统的基本形式分为单流环式和双流环式, 本机组密封油系统采用双流环式, 其密封原理是: 密封油分空侧和氢侧, 二个油路将油供应给轴密封瓦上的二个环状配油槽, 油沿转轴轴向穿过密封瓦内径与转轴之间的间隙流出。如果这二个油路中的供油油压在密封瓦处恰好相等, 油就不会在二条配油槽之间的间隙中窜流。通常只要密封油压始终保持高于机内气体压力, 便可防止氢气从发电机内逸出。氢侧油路供给的油则将沿轴和密封瓦之间的间隙流向氢侧并流入消泡箱, 而空侧油路供给的油则将沿轴和密封瓦之间的间隙流往轴承侧, 并汇同轴承回油一起进入空侧回油密封箱, 从而防止了空气与潮汽侵入发电机内部。

空侧密封油油路: 由交流电动机驱动的空侧密封油泵, 从空侧回油箱取得油源, 它把一部分油泵入油冷却器、滤油器注入密封瓦的空侧, 另一部分油则经过差压阀流回到油泵的进油侧。通过差压调节阀将密封瓦处的空侧密封油油压始终保持在高出发电机机内气体压力 0.084MPa 的水平上, 另外空侧密封油直流备用泵使油以相同方式循环。

氢侧密封油油路: 氢侧密封油油路中的油泵从氢侧控制箱取得油源。它把一部分油经氢侧冷油器、滤油器、平衡阀泵往密封瓦的氢侧。在油泵旁装有旁路管道, 通过一只节流阀对氢侧油压进行粗调。氢侧油路的油压则通过平衡阀进行细调, 并使之自动跟踪空侧油压, 以达到基本相同的水平。平衡阀(汽、励端各一只)的作用是跟踪汽、励端密封瓦内空侧油环内压力, 调整汽、励密封瓦内氢侧油环内压力与空侧油环压力差不大于 $\pm 50\text{mm}$ 水柱, 氢侧密封油回油回到氢侧密封油箱, 密封油箱油位通过空侧密封油泵出口补油或向空侧密封油泵入口排油来控制。作为该循环系统中的主要流质, 密封油品质的好坏, 对系统的安全、经济运行密切相关。本系统油过滤器采用自洁刮片式结构。它的过滤器精度为 $\leq 80\mu\text{m}$, 并且在运行中可通过转动手柄去除附在滤芯上的脏物, 由于空、氢侧油路中各安装了二套油过滤器互为备用, 故当滤芯阻塞严重时, 可投入备用过滤器, 隔离运行的过滤器, 拆下滤芯, 彻底清洗。

二、常见缺陷原因分析及处理

(一) 密封油系统空、氢侧冷油器冷却效果差

1、密封油系统空、氢侧冷油器冷却效果较差。每年夏季密封油油温最高达到 53℃左右，造成密封瓦间隙增大，密封油流量增大，密封油泵电机电流增大，密封油差压波动大，对机组安全运行造成很大安全隐患。主要原因是密封油冷油器冷却管为为锯羽片铜管管，油侧易吸附油垢，每次清理由于管束密集只能清理表面，而内部油污无法清理干净，造成冷油器冷却效果差。根据冷油器冷却效果差的情况，利用大小修的机会把冷油器进行了改造，冷油器芯子由锯羽片管改成了 304 不锈钢无缝光管，要求新冷油器比旧冷油器增加冷却面积或热交换功率 5%-10%。更换后，未出现密封油油温超标的现象，效果很好。

表一是改造前（已清理）密封油冷油器出口油温和冷油器回水调节阀开度。

表一（单位：℃）

时间	机组 负荷	环 境 温度	密封油冷油 器出口油温	冷油器回水 调节阀开度	冷 却 水 进 水 门 开度	冷却水 回水门 开度	冷油器运行 方式
2008. 7. 15	279MW	35℃	52℃	100%	全开	全开	两台同时运行
2008. 7. 20	290MW	36℃	53℃	100%	全开	全开	两台同时运行
2008. 7. 25	290MW	34	51.5	100%	全开	全开	两台同时运行

表二：冷油器更换后密封油冷油器出口油温和冷油器回水调节阀开度。

（单位：℃）

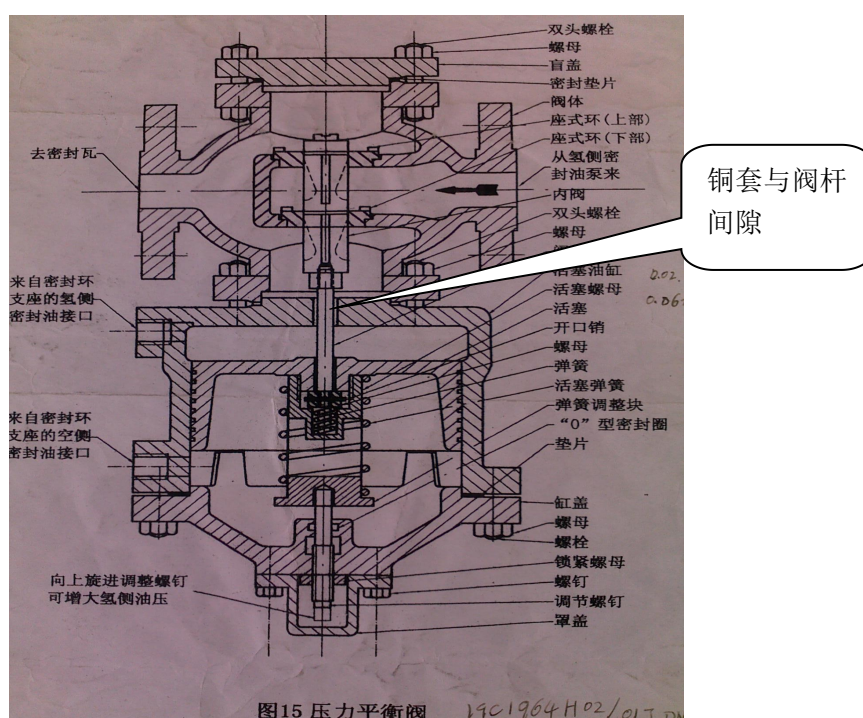
时间	机组 负荷	环境 温度	密封油冷油 器出 口油温	冷油器回水 调节阀开度	冷 却 水 进 水 门 开度	冷却水 回水门 开度	冷油器运行 方式
2009. 7. 12	280MW	34℃	42℃	10%	全开	全开	单台运行
2009. 7. 18	289MW	35℃	43℃	15%	全开	全开	单台运行
2009. 7. 24	291MW	35℃	43℃	15%	全开	全开	单台运行

由表一、表二对比可知，在环境温度大致相同，冷油器在温度调节阀开度下降 85%--90%的情况下，出口油温下降很多，大大节约了冷却用水。

（二）发电机氢气纯度下降快

1、现象：二期两台 300MW 机组都曾发生过氢气纯度下降快的缺陷，导致每天排、补氢量在 20—30 立方。通过检查发现氢侧油箱油位偏高，油箱排油阀有排油现象，说明空侧向氢侧窜油。随即进行氢侧油压调整，使氢侧油压升高。调整过程中发现氢侧油压升高了，但励端平衡阀微差计显示空侧油压始终高于氢侧油压，及氢侧油压不能很好的跟踪空侧油压，随即调整励端平衡阀下部调整螺钉来改变平衡阀出口流量，效果不明显。

2、原因分析：本系统要求氢侧油压始终跟踪空侧油压，要求其微差压在 $\pm 50\text{mm}$ 水柱之间，完成这一使命的就是平衡阀。平衡阀的作用：维持密封瓦内空侧密封油与氢侧密封油压力基本相等，减少空、氢侧密封油的交换，防止空侧油系统中夹带的空气、水蒸气等进入氢侧密封油系统，氢侧油系统中夹带的氢气进入到空侧。如下图：平衡阀活塞下部为密封瓦空侧进油压力，上部为密封瓦氢侧进油压力。经解体发现平衡阀阀杆与铜套间隙为 0.17mm ，厂家要求为 $0.05—0.08\text{mm}$ ，严重超标。这就是氢侧油压不能跟踪空侧油压的主要原因。因为此间隙增大导致平衡阀出口的油压进入到平衡阀活塞上腔室，上腔室油压升高又关小了平衡阀，所以导致氢侧油始终低于空侧油，空侧油向氢侧油窜油，导致空侧油中的空气、水蒸汽等进入到发电机中，使发电机机内氢气纯度下降。



3、问题处理：通过以上分析，平衡阀阀杆与铜套间隙增大是最终导致氢气纯度下降快的原因所在，通过加工新的铜套，使间隙符合标准，安装后进行调试，氢侧油压始终跟踪空侧油压，氢侧油箱油位也在标准范围之内，排油阀不再排油，氢气纯度下降快的问题也就迎刃而解。

(三) 发电机漏氢量大

1、现象：#3 汽轮发电机漏氢比较严重，每天补氢量 $30\text{m}^3-35\text{m}^3$ 左右。检查密封油系统，除励端密封油微差压表周期波动，其它各参数正常且稳定（见表3）。检查测量发电机本体各法兰、管道无明显漏氢现象，测量密封油排烟风机出口管烟雾含氢量为 40%-45% 左右，打开空侧密封油回油观察窗测量烟气含氢量，汽端为 14%、励端为 64%。测量密封油氢侧流量，发现汽端氢侧进油流量为 1.6 立方/小时左右，励端氢侧进油流量为 2.3 立方/小时左右。对

差压阀进行调整，提高密封油油氢差压，测量密封油排烟风机出口含氢量变化不大，漏氢情况没有明显好转。

下表是调整前后参数记录。

表 3：#3 机密封油参数记录

时间 检查 项目	12月21 日 10：30	12月21 日 11：10	12月21 日 16：50	12月23 日 10：20	12月23 日 11：20	12月23 日 16：30	12月23 日 19：30
空侧压力 MPa	0.49	0.50	0.51	0.49	0.50	0.51	0.51
氢侧压力 MPa	0.60	0.57	0.585	0.60	0.57	0.585	0.585
机内氢压 MPa	0.309	0.309	0.302	0.309	0.309	0.302	0.300
油氢差压 KPa	85	84	80	85	88	90	92
励端微差压 mmH2O	0	氢侧高 10	氢侧高 1	0	氢侧高 10	氢侧高 1	0
汽端微差压 mmH2O	空侧高 2	氢侧高 1	0	空侧高 2	氢侧高 1	0	0
汽端氢侧流量	0.5	1.0	/	0.5	1.0	/	/
励端氢侧流量	1.5	1.0	/	1.5	1.0	/	/
主油箱排烟风机出口含氢量%	4	0	0	4	0	0	0
空侧油箱排烟风机出口含氢量%	34	39	39	34	39	37	38
空侧油温	42	42	43	41	42	41	40
氢侧油温	42	42	42	42	41	40	41
汽端回油含氢量%	8	10	8	9	12	11	8
励端回油含氢量%	45	44	47	49	41	40	42

2、原因分析：由以上测量调整可以看出，发电机漏氢速度较快主要由于励端密封瓦与轴颈间隙磨损增大造成的。虽然密封油系统各参数显示正常范围，但由于轴颈圆周磨损程度不同，造成密封瓦与转子间隙不均，严重影响密封效果。利用机组检修机会对励端密封瓦进行了揭瓦检查，发现轴颈与密封瓦密封面有多道沟痕，最深的约 0.5mm，密封瓦间隙超标，随即制定措施对轴颈刷镀修复，密封瓦进行更换。机组运行后发电机每天漏氢量在每天 9-10m³，恢复正常范围

3、轴颈修复施工工艺：

3.1、损伤部位（沟槽）修整：

以便于沟槽的修复，首先对需修复的沟槽进行整形，拓宽成“V”形，深度与宽度之比为 1：10；使刷镀笔能接触到沟槽底部为准。

3.2、表面清理：

3.2.1、修整损伤部位消除槽内毛刺，用细砂纸打磨除去氧化层；

3.2.2、用丙酮或其它专用清洗液清洗修复部位，进行表面去油。

3.2.3、对不需要做刷镀的部位，做好防护，防止刷镀过程中电腐蚀。

3.3、电化学处理修复表面：

3.3.1、电净液正极性电压 10—14 伏，在沟槽表面时间尽量短，进一步清除表面油污。

3.3.2、用 2 号活性液负极性 10—12 伏，用洁净水彻底清洗修复区域表面呈浅黑色；

3.3.3、用 3 号活性液负极性 16—18 伏，用洁净水彻底清洗修复区域表面呈银灰色，无花斑。

3.4、镀过渡层：

首先无电擦拭 3—5 秒，正极性电压 12—14 伏，时间约 15 分钟，用镍基合金做过渡层填料，厚度约 0.02—0.05mm。由于镍基合金与轴颈和合金铜都有较强的结合力，以提高结合强度。

3.5、镀填补层：

高后沉积铜为填补层（尺寸层），电压 8—12 伏，厚度控制在 0.3mm 左右，时间根据沟槽深度灵活掌握，用铜合金作为填充层材料，硬度保证接近原轴颈硬度。

3.6、刷镀后修复：

3.6.1、粗加工：用锉刀等打磨高出工件的部位；

3.6.2、精加工：用红丹粉涂在修复区域，检查粗打磨情况，然后用锉刀、水砂纸对不平部位的焊层进行打磨修复，用刀口尺、塞尺进行检查。

3.6.3、对轴颈进行抛光：用金相砂纸对修复部位进行抛光，使处理部位光洁度达到原基体标准。

4 效果分析：通过轴颈修复、更换密封瓦及调整密封瓦间隙等工作，#3 机漏氢量大的缺陷从根本上得到了解决。

三、从日常维护的角度防止出现常见缺陷的方法和解决途径

1 防止发电机进油、提高氢气纯度，减少补氢量的措施

1.1 保证油质量，提高过滤精度。

现 300MW 机组密封油系统的空氢侧密封油均采用刮片式滤网（过滤器精度 $\leq 80 \mu\text{m}$ ），但实际上这种刮片式滤网只能作粗滤网，不能有效过滤掉密封油中的微小颗粒。正是由于密封油中的微小颗粒与密封瓦及轴颈的相对流动产生的研磨，加剧了密封瓦与轴颈的磨损，导致了运行密封瓦间隙的增大。因此淘汰刮片式滤网，以过滤精度 $12 \mu\text{m}$ 以下的纤维滤网替代刮片式滤网运行，是保证油质量的一种有效手段。

1.2 提高平衡阀的调节精度和运行可靠性。

提高平衡阀的调节精度可有效减少空、氢侧密封油的窜动量，防止氢气污染。良好清洁的油质同样可以避免平衡阀磨损、卡涩，调节失灵。另外也可采用一种阀芯连续旋转的新型平衡阀，这种平衡阀采用密封油做为动力油推动阀芯以一定速度旋转，可防止密封油中杂质

造成阀芯卡涩。

3.3 控制保持密封油的温度相对稳定，减少平衡阀调节幅度与频率。因为油温对密封瓦间隙影响较大，一是保证冷油器的冷却效果，冷油器回水调门调节灵活不卡，二是使电加热装置始终处于良好备用状态。

3.4 适当提高排烟风机的风压。

提高氢油分离器排烟风机的风压可提高氢油分离器的负压，减少空侧密封油中的含空气量和含水量，从而减少因空、氢侧密封油交换对氢气的污染。

2 防止密封油泄油窜油的办法和解决途径

2.1 提高现有密封油系统平衡阀和差压阀的灵敏度与跟踪性能是解决的根本办法。影响两阀的灵敏度的因素很多，而密封油的油质问题是造成阀卡涩的常见原因，所以改善密封油油质，严格保证密封油系统的清洁度，是一种必然的途径。因此通过加装大流量及高精度滤油车对密封油系统油源主机润滑油进行充分过滤，使油质最终达到 NASI638 6 以上标准，是防止由于油质本身造成的污染的有效途径之一。另外在运行中对油质的状况进行同步跟踪，是防止由于油质污染的有效手段。

2.2 提高安装及检修质量，减少系统内产生杂质的根源，保证差压阀、平衡阀、补排油浮子阀动作灵活、可靠、平稳。

四、结束语

通过对密封油系统进行优化改进，更换精密滤网(包括空侧、氢侧，过滤精度 $12\ \mu\text{m}$)，增加大机润滑油的滤油次数，保证密封油的油质达到 NASI638 6 级以上，是保证密封油系统正常运行减少缺陷和隐患的最根本的有效途径。同时加强人员培训，提高检修质量，也能从根本上保证发电机密封油系统的安全稳定运行，提高整台机组的运行可靠性。

参考文献：

【1】、国电菏泽发电有限公司 300MW 机组汽机检修规程

【2】、刘河 张海峰 国产 600MW 机组密封油系统常见缺陷原因分析及处理办法 汽轮机技术 (第 51 卷 第 4 期 2009 年 8 月)

作者简介：侯建 男 38 岁 工程师 从事汽轮机调速系统检修 国电菏泽发电有限公司 汽机队调速班 山东省菏泽市光明路 1 号 274032