

汽轮机调节汽门油动机漏油原因分析及处理

张浩

山西漳山发电有限责任公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i1.7639

[摘要] 汽轮机调节汽门油动机在核电站的安全和高效运行中起着至关重要的作用。该油动机通过油压控制汽门的开闭,实现对汽轮机功率和负荷的调节。然而,在长时间运行中,油动机可能出现漏油问题,影响机组稳定性和安全性。本文详细分析了油动机漏油的常见原因,如密封磨损、EH油质量问题、压力异常及部件损坏等,并探讨了有效的处理措施,包括漏油原因排查、密封处理、EH油管理、油动机压力调整等。通过对某电站的油动机泄漏案例的分析,提出了针对性的解决方案和预防措施,确保机组在正常运行期间最大限度减少风险。此研究为汽轮机油动机漏油问题的处理提供了理论依据和实际应用参考。

[关键词] 汽轮机;油动机;漏油;处理措施

Analysis and treatment of oil leakage causes of steam turbine regulating valve oil motor

Zhang Hao

Shanxi Zhangshan Power Generation Co., LTD.

[Abstract] Steam turbine regulating valve oil motor plays a vital role in the safe and efficient operation of nuclear power plant. The oil motor controls the opening and closing of the valve through the oil pressure to adjust the power and load of the steam turbine. However, in the long time operation, the oil motor may have oil leakage problems, affecting the stability and safety of the unit. This paper analyzes in detail the common causes of oil motor leakage, such as seal wear, EH oil quality problems, abnormal pressure, and component damage, and discusses the effective treatment measures, including the investigation of oil leakage causes, sealing treatment, EH oil management, oil motor pressure adjustment, etc. Through the analysis of oil motor leakage cases of a power station, targeted solutions and preventive measures are proposed to ensure that the unit minimize the risk during normal operation. This study provides the theoretical basis and the practical application reference for the treatment of the oil leakage problem of the steam turbine oil motor.

[Key words] steam turbine; oil motor; oil leakage; treatment measures

一、引言

汽轮机调节汽门油动机在核电站等关键设施的正常运行中,扮演着重要角色。油动机通过控制进汽阀的开关,调节汽轮机的功率和负荷,确保系统在不同负荷和工况下的稳定性。随着设备的长时间运行,油动机常因密封老化、EH油污染、压力异常等原因导致漏油,这不仅影响汽门的正常开闭,还可能引发机组跳闸或超速等安全问题。因此,及时有效地发现和处理好油动机漏油问题,对于保障机组的安全、提高其运行效率至关重要。

二、汽轮机调节汽门油动机的工作原理

油动机主要由活塞缸、活塞、端盖和密封件等组成,通常竖直布置。工作时,油动机内部的压力油通过油泵供给,压力油克服弹簧力推动活塞杆,使得调节汽门打开,调节汽轮机的蒸汽流量。失去动力油时,复位弹簧将活塞杆推回,导致汽门关闭。油动机内部的小端盖密封和刮油环负责密封和清洁作

用,确保油液不外泄。复合密封由橡胶圈和聚四氟乙烯环组成,形成油膜以降低摩擦和磨损,从而延长油动机的使用寿命。油动机工作时通过密封和油膜提供润滑,防止泄漏,同时确保调节汽门能够精确响应,维持汽轮机的稳定运行。

三、调节汽门油动机漏油的常见原因分析

3.1 密封问题

密封圈老化或磨损是常见的故障原因。随着长时间运行,密封圈的材料会因高温、高压和机械摩擦作用逐渐失去弹性或发生变形,导致密封性能下降,最终导致EH油泄漏。特别是在高负荷或频繁启动的工作条件下,密封圈的磨损速度加快,因此需要定期检查并更换老化或磨损的密封件。其次,密封材料不合适或安装不当也会引发漏油问题。如果密封件的材料选择不适应工作环境的温度、压力或化学性质,可能导致密封不严,产生油渗漏。此外,密封件安装不规范,特别是在组装过程中未严格按照设计要求安装,也可能导致密封效果不佳,形

成漏油路径。

3.2 EH 油质量问题

EH 油在使用过程中容易受到污染,可能含有颗粒物、水分、空气或金属屑等杂质,这些杂质不仅降低了 EH 油的润滑性能,还可能导致油动机内部部件的磨损和腐蚀,从而形成漏油现象。此外, EH 油劣化也会导致其粘度降低,无法有效形成油膜保护,增加机械摩擦和泄漏的风险。另外, EH 油的粘度不匹配或含水也会对油动机造成影响。不同类型的油动机需要不同粘度的 EH 油,以确保其在工作温度下保持足够的流动性和粘附性。如果 EH 油的粘度不符合要求,可能导致油膜破裂,油封失效,最终导致油动机漏油。

3.3 压力异常

油动机工作压力过高时,可能会导致密封圈受压过度,发生变形或断裂,无法有效阻止油液泄漏。反之,油动机压力过低时,也可能导致油动机内部润滑不充分,增加摩擦和热量积累,最终使密封件损坏,导致漏油。此外,油路阻塞或流量不均也会影响油动机的压力稳定性。油路中的杂质、沉积物或管道内的空气堵塞会造成油液流动不畅,导致局部压力升高或流量不均匀。这样的情况不仅会对油动机的正常运作产生影响,还可能引发内部部件的过度磨损或失效,进而造成漏油。因此,保证油路畅通、压力稳定是防止漏油的关键。

3.4 油动机部件损坏

在长时间使用过程中,油动机活塞杆、活塞、油缸等部件可能由于摩擦和磨损,导致油动机的密封性能下降, EH 油通过损坏的部件内漏或外泄。因此,定期检查油动机内部部件的健康状态,及时更换损坏部件是防止漏油的重要措施。此类问题如果不及时修复,会导致漏油问题进一步加剧,影响油动机的安全稳定工作。

3.5 操作与维护问题

操作与维护不当是导致油动机漏油的重要因素之一。维护不到位、定期检查缺失等问题常常会导致油动机存在潜在的漏油风险。例如,操作人员未按规定检查油液的质量和油位,可能导致油动机缺油或油液污染,从而增加设备的磨损和漏油风险。另外,设备长期超负荷运行也容易导致油动机各部件的过度磨损,密封性下降,最终引发漏油。此外,在油动机更换安装过程中,油动机的固定支座与活塞杆不同心,会造成活塞杆长期偏磨,进而导致活塞杆严重磨损漏油,这点应特别引起注意。

3.6 设计缺陷

油动机的设计缺陷也可能导致漏油问题的发生。油动机设计不合理可能导致各个部件配合不良,密封性能差,从而引发漏油。特别是油动机内部部件间的间隙过大或密封件的接触面不均匀,都会导致油液外泄,降低系统的运行效率。此外,油动机的润滑和密封系统设计缺陷也是导致漏油的常见问题。如果在设计阶段未充分考虑到系统的压力变化、油路布局和密封要求,可能导致系统在实际运行中出现密封不良或油液泄漏的情况。

四、汽轮机调节汽门油动机漏油的处理措施

4.1 漏油原因排查与诊断

处理汽轮机调节汽门油动机漏油问题的首要步骤是进行

漏油原因的排查与诊断。通过油样分析和现场检测,可以有效识别 EH 油中的污染物、杂质或劣化现象,从而判断油动机运行中可能存在的故障点。油样分析能够揭示油品的劣化程度、含水量、金属磨损颗粒、酸值、旋转氧弹、泡沫特性、抗乳化性等信息,这些数据对于准确诊断油动机的漏油原因至关重要。同时,现场检查是通过检查 EH 油系统的压力变化、油箱油位变化、油温等参数,结合设备运行状态进行分析,查找漏油的具体来源。漏油检测仪器与检查工具的使用,如红外线漏油探测器或超声波检测仪,也能够通过直接定位泄漏源,进一步提高漏油诊断的准确性。

4.2 密封处理

密封件的更换或修复是解决油动机漏油问题的重要环节。密封圈老化、磨损或变形是造成漏油的常见原因,因此更换失效的密封件是第一步。应选择高质量、适合工作环境的密封材料,以确保密封效果的持久性。在更换密封件时,必须严格按照制造商的要求和标准操作,确保密封件安装到位,避免因安装不当导致新的漏油问题。同时,随着材料科学的发展,采用新型密封材料和技术可以显著提升密封效果。例如,采用聚四氟乙烯 (PTFE) 密封圈或氟橡胶密封材料,这些材料具有更强的耐高温、耐压、抗化学腐蚀性能,可以有效延长密封件的使用寿命。此外,应用先进的密封技术,如激光焊接密封技术,也能提升密封性能,减少漏油发生的概率。在密封处理过程中,需关注密封表面光洁度和密封槽的几何尺寸,确保密封组件的完美配合,以实现最佳的密封效果。

4.3 EH 油管理与优化

首先,更换污染或劣化的 EH 油是解决漏油问题的关键措施之一。EH 油随着使用时间的增加,容易受到氧化、污染以及水分混入等影响,这会导致油品粘度、酸值、旋转氧弹变化,润滑性能、抗氧化性能、抗腐蚀性能下降,进而影响油动机的密封性和工作性能。因此,定期检查 EH 油质量,及时更换污染或劣化的油品,能够有效避免因油品不良引起的漏油现象。其次,控制油品质量至关重要。使用符合技术要求的 EH 油,并通过过滤装置去除油品中的杂质,可以有效减少油动机内部部件的磨损,防止杂质引发的油封损坏。油路的清洁度也同样重要,定期清洗油路、油泵及相关部件,确保油液流动畅通,避免因油路阻塞导致压力不稳,进而引发漏油问题。

4.4 调节油动机压力

油动机的压力过高或过低都可能导致密封失效,进而引发漏油。若油动机的压力过高,密封件会受到过大的应力,可能出现形变、破损,导致油液泄漏;而油动机压力过低,则可能导致润滑不充分,增加摩擦和磨损,最终导致设备部件失效。为了保持合适的压力,应根据油动机的设计要求进行精确调整,确保其在最佳工作压力下运行。此外,排除油路中的阻塞或压力不均问题也是确保油动机正常工作的关键。油路中的沉积物、杂质或空气都会导致油液流动不畅,造成压力波动,影响油动机的运行。定期检查油路、清理过滤装置、更换滤芯,保持油路畅通,是避免压力异常导致漏油的有效措施。

4.5 油动机部件检查与更换

油动机的部件，如油缸、活塞杆、活塞等，长期运行后可能会出现磨损或损坏，导致漏油。因此，定期检查油动机的关键部件至关重要。通过定期检查，可以发现部件的磨损情况，并及时更换或修复损坏的零件，从而避免部件损坏进一步导致油动机的故障或漏油。例如，活塞杆和密封部件经常因长期运行而磨损，造成泄漏；油缸的密封件如果损坏，则可能导致油液外泄。通过对油动机各部件进行定期检查，确保其处于良好的工作状态，可以有效预防漏油问题的发生。具体检查项目有：油缸筒清洗并检查内表面磨损情况、活塞杆表面抛光并检查有无磨损和弯曲变形、缸头及缸盖密封面、油路块及其堵头或接头进行超声波清洗。在发现部件磨损或损坏时，应立即进行更换，并对新的部件进行适当的测试和调试，确保设备正常运行。具体试验项目有：油缸跑合试验、测量油缸启动压力和内泄露量、油缸行程测量、油动机耐压试验等。

4.6 操作与维护规范化

规范化的操作与维护是确保油动机正常运行、避免漏油的关键。操作人员必须严格按照设备手册中的要求操作油动机，避免不当操作引发的故障。例如，避免长时间超负荷运行油动机，因为超负荷运行会导致油动机温度过高、密封件失效，从而导致漏油问题。此外，定期保养和检查是保障油动机长期稳定运行的必要措施。应制定详细的操作手册和维护计划，明确操作流程、检查周期和维护标准，确保设备得到充分的保养和及时的维修。操作人员应接受定期培训，熟悉设备性能和工作原理，掌握常见故障的排除方法，提高应急处理能力。

4.7 改进设计方案

首先，应根据油动机的使用条件，优化密封件的设计，选择更加耐高温、耐高压、抗腐蚀的密封材料，提升其密封性能。例如，采用先进的复合材料或弹性密封技术，可以有效减少油动机在长时间运行中的磨损，从而提高密封效果。其次，改进油动机内部结构的设计，优化油路的布置和部件的配合精度，可以减少摩擦和泄漏的风险。油动机的油缸、油泵等关键部件的设计应考虑到长时间使用后的负荷变化，确保其在长期运行中的稳定性和密封性。此外，采用现代化的油动机设计标准和技术，如无泄漏油封技术、智能监控系统等，能够进一步提升油动机的可靠性，降低漏油的发生率。

五、案例分析

5.1 油动机密封结构与泄漏分析

A 站的汽轮机调节汽门驱动机构的油动机由活塞缸、活塞、大端盖和小端盖组成，采用水平布置。小端盖内部设计了复合密封和刮油环，主要用于密封和清洁活塞杆，防止杂质进入，并减少油液外漏。

刮油环的作用是清洁暴露在外的活塞杆，防止污泥、灰尘和水分等异物进入油动机，保护复合密封的完整性。小端盖上还设计有检漏油孔，当复合密封不严时，油通过小端盖的检漏孔流出，进入废液收集箱。由于复合密封的异常磨损，油动机出现了高压端泄漏现象。泄漏源头主要是活塞杆的往复运动将

杂质带入密封区域，导致密封面刮痕或磨损，加剧了泄漏。进一步分析还发现，活塞杆表面损伤、活塞杆与端盖的不同心也导致了密封的异常磨损，缩短了复合密封的使用寿命。

5.2 泄漏量分析与处理

在理论计算中，假设高压端小端盖的复合密封完全失效，泄漏量主要由活塞杆与导向铜套之间的圆环间隙决定。计算得出，若油动机泄漏达到理论最大值，泄漏量可达 156L/天。实际测得泄漏率为 83.28L/天（在油压为 50bar 时），而在油压为 138bar 时，泄漏量为 185.81L/天，均在理论值的范围内，且未对油泵供油压力造成明显影响。为确保机组正常运行，处理措施主要包括实时跟踪泄漏量和油箱液位变化，并采取补油措施，确保油压维持在正常水平。当泄漏率达到 43.2L/天时，启动应急预案，将泄漏油引入回油管，避免影响机组的安全运行。由于油动机泄漏量并未达到理论最大值，机组的正常运行风险可控，因此未立即停机修理，而是保持正常运行至大修时进行彻底检查和维修。

5.3 解体检查与解决方案

在大修期间，对三台调节汽门油动机进行了解体检查，发现高压端小端盖的复合密封和刮油环磨损严重。刮油环的腐蚀和复合密封的磨损产物在端盖处堆积，严重影响了油动机的密封性能。通过分析发现，非氟橡胶材质的刮油环在抗燃油中会受到腐蚀，形成碎片和油品变质物，导致复合密封受到损害，形成恶性循环。检查还显示，油动机活塞杆在 40%开度时存在轻微的镀铬层磨损，这加速了复合密封的磨损，并增加了抗燃油泄漏量。温度对比也显示，高压端油动机的温度高于低压端，且高压端未安装防尘罩，导致活塞杆裸露在外，容易积聚杂质，进一步加剧了泄漏问题。最终，维修人员决定更换氟橡胶材质的刮油环，并推动油动机的替代改造，从而消除了设备隐患。

六、结论

汽轮机调节汽门油动机的漏油问题虽然常见，但通过科学的故障诊断和系统的处理措施，能够有效避免对机组运行的严重影响。通过对 A 站油动机泄漏问题的案例分析，可以看出，采取漏油原因排查、密封材料更换、油质管控、油压调整和油路优化等措施，能够显著减少设备故障的发生并延长设备使用寿命。

[参考文献]

- [1]单侧油动机试验研究.顾洪生;季剑明;王祖荣.上海汽轮机,1984(01)
- [2]汽轮机组高调油动机系统快速关闭设计与试验研究.万保中.液压与气动,2013(12)
- [3]高压油动机故障的分析及处理.沈正华,严祖林.浙江电力,2002(02)
- [4]50MW 机组中压油动机箱体满油改造.赵明.安全、健康和环境,2007(09)
- [5]伺服油动机控制技术介绍.刘康宁.自动化博览,2020(09)