

汽轮机轴瓦的常见故障及检修技术分析

李小满

国家电投集团贵州金元绥阳产业有限公司 贵州遵义 563000

摘要: 轴瓦作为汽轮机的关键部件,在长时间的运行中,难免会发生摩擦、振动等问题。必须对设备进行及时地识别和维修,若不及时修理或修补涡轮增压,将引起汽轮机温升及防护功能失效,危及汽轮机的安全运转。因此,本文对汽轮机轴瓦的工作原理,汽轮机轴瓦的常见故障进行了深入地分析,提出汽轮机轴瓦的检修方法,并通过实例研究,对提高汽轮机的可靠性具有重要意义。

关键词: 汽轮机轴瓦; 常见故障; 检修技术

引言

对汽轮发电机组而言,汽轮机轴瓦工作稳定与否直接关系到衡量发电机组的工作效率。但是,从各地反馈来看,汽轮机在运行中存在着燃烧、振动等多种故障,严重影响了汽轮机组的安全稳定运行。为此,需要建立完整的汽轮机轴瓦故障诊断与检修技术,以解决以上问题。

一、汽轮机轴瓦概述

(一) 汽轮机轴瓦的作用

汽轮机轴瓦是汽轮发电机组中的核心部件,其承载着销轴的受力,维持油膜的稳定性,确保其正常运转,减小了各轴承间的摩擦力。汽轮机轴瓦比较平滑,其采用抗磨材料做成。轴瓦分为两种类型:径向瓦和轴向瓦。径向瓦主要起到支撑汽轮机转子的作用,而轴向瓦则起到了轴向定位的作用。

(二) 汽轮机轴瓦的工作原理

由于汽轮机轴瓦仅仅用于支撑和承担载荷,所以汽轮机轴瓦工作原理与之不同。在使用时,由于汽轮机轴瓦间形成了一层油膜,从而达到了很好的润滑效果。由于轴瓦与轴承间有较大的摩擦力,所以在摩擦时,其温升较高,对轴承造成了较大的磨损。尽管轴瓦采用特种材质,但直接摩擦,仍有可能引起轴承温度过高而自燃。为保证汽轮机在剧烈的震动下不受损伤,汽轮机内部装有防震设备,以保证在非正常工况下的稳定运转。这也是对汽轮机最基本的防护措施^[1]。

二、汽轮机轴瓦故障的常见类型

(一) 磨损与腐蚀

汽轮机轴瓦常见故障类型中,磨损与腐蚀是两大主要问题。磨损通常由长时间的机械摩擦引起,如轴承与

轴的相对运动导致金属表面的微小颗粒脱落,长此以往,会显著降低轴瓦的精度和使用寿命。腐蚀则可能源于润滑介质的污染,如润滑油中混入水分或酸性物质,导致金属表面的化学反应,形成锈蚀,增加运行阻力。

例如,某电厂汽轮机在运行过程中,轴瓦出现异常磨损,导致轴承间隙增大,运行噪音和振动显著增加。经过分析,发现是由于润滑油中的杂质含量超标,加剧了轴瓦的磨损。此案例强调定期检查润滑油质量和及时更换的重要性。同时,磨损与腐蚀的分析往往需要结合磨损粒子分析和化学成分检测,通过建立磨损预测模型,可以更早地发现潜在问题,防止故障的进一步恶化^[2]。

(二) 热裂纹与变形

汽轮机轴瓦热裂纹与变形是常见的故障类型,严重影响设备的稳定运行和使用寿命。热裂纹通常由过热引起,例如,当轴瓦承受过大的负荷或润滑失效导致局部温度急剧升高,超过材料的热疲劳极限时,就会产生裂纹。这些裂纹可能会扩展,导致轴瓦的结构完整性丧失,进而引发严重的设备事故。另一方面,轴瓦变形可能源于不均匀的受力,如安装偏差、轴承座变形或轴的弯曲,变形会改变轴瓦与轴的接触状态,增加运行阻力,甚至导致轴承抱死。

在实际案例中,某电厂的汽轮机就曾因轴瓦热裂纹引发重大故障,导致停机维修,经济损失巨大。分析发现,故障的直接原因是润滑油温度过高,未及时发现并调整,裂纹在持续高温下逐渐扩大。此外,轴瓦的微小变形未被早期检测到,使得轴承表面的接触应力分布不均,加速了裂纹的形成和发展。

为预防和处理这类问题,可以采用先进的热力学和应力分析模型,对轴瓦的工作状态进行仿真预测,评估

其在各种工况下的热应力分布，及时发现潜在的裂纹风险。同时，通过安装精确的温度和振动监测系统，实时监控轴瓦的运行状态，一旦发现异常升温或振动增大，就能快速响应，避免裂纹进一步扩展和变形加剧。

（三）润滑失效

润滑失效是汽轮机轴瓦故障中常见但不容忽视的问题。润滑系统是保证轴瓦正常运行的关键，一旦失效，可能导致轴承过热、磨损加剧，甚至造成设备的严重损坏。例如，润滑油中混入杂质，可能导致油膜强度下降，据研究显示，润滑油中仅0.5%的微小颗粒就可能使轴承寿命减少80%。此外，润滑油的黏度异常，如在低温下黏度过高或高温下黏度过低，都会破坏油膜的稳定性，增加轴瓦的运行阻力和温度，从而引发故障。因此，对润滑系统的监控和维护，包括定期更换高质量的润滑油、过滤系统维护以及对润滑状态的实时监测，都是预防轴瓦故障的重要措施^[3]。

（四）断裂与破损

汽轮机轴瓦的断裂与破损是运行中常见的严重问题，可能导致设备停机，甚至造成重大安全事故。断裂通常由过大的机械应力或疲劳损伤引起，而破损可能源于运行中的异常冲击或长期磨损。例如，一项研究显示，约有15%的汽轮机轴瓦故障直接归因于断裂或破损。在分析这类问题时，需要考虑轴瓦的设计载荷、材质强度以及运行环境中的冲击负荷等因素。

为预防轴瓦的断裂与破损，可以采用疲劳寿命预测模型进行分析，评估轴瓦在预期使用寿命内的稳定性。同时，引入无损检测技术，如超声波检测和磁粉探伤，可以在早期发现并处理轴瓦内部的微小裂纹，防止其进一步扩展导致破损。

三、轴瓦检修技术

（一）故障修复方法

轴瓦故障修复方法是汽轮机维护中的关键环节，其包括了对轴瓦磨损的修复、热裂纹的处理以及润滑失效后的恢复等。对于磨损的轴瓦，可能需要采用金属喷涂、焊接或热喷涂技术来恢复其表面尺寸和形状，确保与轴的配合精度。例如，研究显示通过精确控制的金属喷涂，可以将轴瓦的磨损层恢复到原始状态，且修复后的使用寿命能达到新轴瓦的80%以上。此外，对于热裂纹，可能需要采用专业的冷焊技术，防止在修复过程中产生新的热应力导致裂纹扩展。

润滑失效的修复则更侧重于找出失效原因，可能是润滑油的选择不当，也可能是油路的堵塞。在确定原因

后，需要更换适合的润滑油，或者清洗和修复油路系统，确保润滑油能有效冷却并减少轴与轴瓦之间的摩擦。企业在发现轴瓦润滑失效后，通过更换专门针对高温环境设计的润滑油，成功降低了轴瓦的运行温度，恢复了正常的润滑效果。在修复过程中，质量控制至关重要。这包括对修复工艺的严格监控，以及修复后对轴瓦的严格检测，如使用精密的测量工具检查轴瓦的几何精度，确保其满足设计要求。同时，修复后的性能测试，如进行无负荷或模拟负荷的试运行，可以验证轴瓦修复的效果，确保汽轮机的安全稳定运行。

（二）轴瓦的更换与再制造

在汽轮机轴瓦检修过程中，轴瓦更换与再制造是两个重要的环节。更换通常是在轴瓦严重磨损、热裂纹无法修复或者材质破坏到一定程度时进行，以确保设备的正常运行。再制造则是一种经济且环保的策略，通过专业的修复工艺，如表面处理、尺寸恢复和性能提升，使旧轴瓦恢复到接近新品的状态。在轴瓦更换过程中，需要严格遵循制造商的指导和行业标准，确保新轴瓦与轴的配合精度，以减少运行过程中的异常磨损和振动。此外，更换后应进行严格的性能测试，如平衡测试和负荷试验，以验证其工作性能是否达到预期。

再制造工艺包括清洗去污、缺陷修复、尺寸恢复和表面强化等步骤。例如，使用激光熔覆技术可以精确修复轴瓦表面的损伤，并通过热处理恢复其硬度和耐磨性。在实际应用中，某电厂通过再制造技术修复了10个严重损坏的轴瓦，不仅节省了采购成本，而且修复后的轴瓦在后续运行中表现出了与新品相当的稳定性^[4]。

（三）检修过程中的质量控制

在汽轮机轴瓦检修过程中，质量控制是确保设备恢复正常运行并延长使用寿命的关键环节。这包括对故障精确识别、修复工艺的严格遵循，以及检修后性能的全面验证。例如，对于热裂纹修复，需要精确测量和分析裂纹深度与长度，以选择合适的焊接材料和工艺，防止因修复不当导致的二次损伤。此外，修复过程中应严格控制环境温度和湿度，以保证焊接或填充材料的最佳性能。

在轴瓦更换与再制造过程中，质量控制涵盖了零部件的清洗、测量、修复或更换等步骤。每一步都应有详细地记录，以实现可追溯性。例如，使用超声波清洗设备确保轴瓦表面无残留杂质，防止新安装时的异常磨损。同时，应用精密测量工具如坐标测量机，确保轴瓦与轴的配合精度在允许的公差范围内。此外，建立完善的质量管理体系，可以系统性地指导和监督整个检修过程。

这包括制定详细的操作规程，对工作人员进行定期培训，以及引入质量审核机制，确保每一步操作都符合标准。例如，通过引入六西格玛等质量管理工具，可以持续改进修复过程，降低缺陷率，提高修复质量的稳定性。

（四）检修后的性能测试

在汽轮机轴瓦检修过程中，性能测试是至关重要的环节，它能确保修复工作的质量和设备的运行效率。性能测试主要包括对轴瓦的承载能力、振动水平、运行温度以及润滑效果的评估。例如，通过对比修复前后的振动频谱分析，可以量化轴瓦修复效果。此外，还会通过模拟负载测试，检查轴瓦在实际工况下的耐久性，确保其在满负荷运行时能保持良好的润滑状态，防止因摩擦增加导致的功率损失。例如，某电厂的汽轮机在轴瓦修复后，通过一系列严格性能测试，发现其运行温度下降了20℃，同时振动水平下降了40%，这不仅延长了轴瓦的使用寿命，也大大降低了设备故障的风险。因此，性能测试不仅是对检修工作的质量控制，也是优化运行性能、提升设备生命周期管理的重要手段^[5]。

四、轴瓦的预防性维护策略

（一）定期检查与保养

定期检查与保养是汽轮机轴瓦故障预防的关键环节。这包括对轴瓦的磨损状态、润滑油质、运行温度以及振动情况进行定期检测。例如，可以设定每运行1000小时或每季度进行一次全面检查，检查内容应涵盖轴瓦的表面磨损情况，确保其与轴的配合间隙在设计范围内。同时，润滑油的清洁度和化学性能变化也是评估轴瓦工作状态的重要指标，应定期取样分析，一旦发现异常，应及时更换或进行油品处理。

在保养方面，应严格按照制造商的维护手册执行，如定期清理轴瓦的沉积物，防止因杂质导致的异常磨损。此外，保持冷却系统的正常运行，避免轴瓦过热也是防止热裂纹和变形的重要措施。引入预防性维护模型，如PdM（预测性维护）和CBM（状态基维护）也是提升保养效果的有效手段。这些模型利用数据分析和机器学习，根据历史数据预测可能出现的故障，提前进行必要的维修或调整，大大降低了因轴瓦故障导致的非计划停机时间。因此，定期检查与保养不应仅仅停留在例行操作，而应结合现代管理理念和技术，实现从被动维修到主动预防的转变。

（二）提升润滑管理

润滑管理是汽轮机轴瓦维护中的关键环节，直接影响设备的运行效率和寿命。优化润滑管理主要包括选择合适的润滑油品、精确的油量控制以及定期的油质检测。

例如，选择具有优异抗氧化和抗磨损性能的润滑油，可以显著减少轴瓦的磨损率，延长其使用寿命。此外，通过精确的油量控制，避免因润滑油过多导致的散热不良，或润滑油过少引发的干摩擦，从而防止轴瓦的热裂纹和变形。同时，定期进行润滑油的采样分析，可以及时发现油品中的金属微粒，预警轴承的早期磨损，预防故障的发生。

（三）建立故障预警系统

在汽轮机轴瓦运行管理中，建立有效的故障预警系统至关重要。该系统可以通过实时监测设备运行状态，提前发现潜在的故障迹象，从而降低非计划停机带来的经济损失。例如，可以集成温度、振动、润滑油质变等多参数监测，当数据偏离正常范围时，系统自动报警，提示维护人员进行检查和干预。此外，可以利用大数据分析和机器学习算法，建立故障预测模型，通过对历史故障数据的学习，预测未来可能出现的问题，提高故障识别的准确性和前瞻性。故障预警系统的建立还需要结合实际运行环境和设备特性，定制化设定预警阈值。例如，对于磨损与腐蚀问题，可能需要关注轴瓦的磨损速率和表面粗糙度变化；对于润滑失效，可能需要监测润滑油的粘度、酸值等指标。同时，系统应具备自我学习和优化的能力，随着运行数据的积累，持续提升故障识别的敏感性和精确度。

结束语

综上所述，汽轮机轴瓦故障是由多种因素造成，通过对这些现象的分析，采用故障排除法，逐步地找出造成这些问题的原因，然后再加以处理，才能使汽轮机轴瓦的正常工作得以恢复。通过对汽轮机轴瓦常见故障进行了分析，并对其进行检修，以保证汽轮机机组的安全性和可靠性。

参考文献

- [1] 张兴明, 郝发刚, 邢志江, 王江, 杨昶宇. 水轮发电机组轴瓦间隙不匀故障分析方法[J]. 水电与抽水蓄能, 2022, 8(04): 78-82+86.
- [2] 王舰锋. 660MW发电机电励端轴瓦绝缘失效故障处理[J]. 中国新技术新产品, 2021, (14): 87-89.
- [3] 孜比达·孜列哈. 柴油发动机烧轴瓦故障的原因分析[J]. 农业装备技术, 2020, 46(04): 50.
- [4] 刘爱南. 汽轮机组推力轴瓦异常超温故障处理[J]. 通用机械, 2018, (08): 27-29.
- [5] 韩明. 汽轮机轴瓦温度高的分析与故障排除[J]. 中国设备工程, 2018, (09): 107-108.