

汽轮机轴瓦温度异常故障的原因分析与检修优化

班小宇

贵州金元茶园发电有限责任公司, 贵州 毕节 551800

DOI:10.61369/EPTSM.2025010010

摘要： 为了提升汽轮机组的可靠性和经济性，解决轴瓦温度异常问题，文章先明确了诱发汽轮机轴瓦温度异常的原因与检修优化相关内容。并以某电厂汽轮机机组实际检修案例为例，分析其中润滑系统、安装制造、运行工况、监测维护等方面存在的问题。最后提出状态监测技术优化、检修工艺改进、材料与结构升级、运行管理优化等措施。这些措施有效解决了轴瓦温度异常问题，验证了检修优化方案的有效性，为汽轮机轴瓦温度异常故障治理提供了一定参考。

关键词： 汽轮机；轴瓦；温度异常；设备故障；检修

Cause Analysis and Maintenance Optimization of Abnormal Temperature Failure of Steam Turbine Shbush

Ban Xiaoyu

Guizhou Jinyuan Tea Garden Power Generation Co., LTD. Bijie, Guizhou 551800

Abstract： To enhance the reliability and economic efficiency of steam turbine units and address abnormal bearing temperature issues, this paper first clarifies the causes of abnormal bearing temperatures in steam turbines and related aspects of maintenance optimization. Using an actual maintenance case from a power plant's steam turbine unit as an example, it analyzes problems existing in lubrication systems, installation and manufacturing, operating conditions, monitoring, and maintenance. Finally, measures such as optimizing condition monitoring technology, improving maintenance processes, upgrading materials and structures, and enhancing operational management are proposed. These measures effectively resolve abnormal bearing temperature issues, validating the effectiveness of the maintenance optimization plan and providing a reference for the management of abnormal bearing temperature faults in steam turbines.

Keywords： steam turbine; bearing shell; abnormal temperature; equipment failure; maintenance

引言

汽轮机轴瓦作为汽轮发电机组的核心支撑部件，承担着转子径向载荷传递与动态平衡的关键作用，其运行状态直接影响机组的安全性和经济性。轴瓦通过形成稳定的油膜实现低摩擦运转，若温度异常将导致油膜破裂、金属直接接触，进而引发轴瓦烧损、转子振动超标甚至停机事故。行业内针对轴瓦温度异常问题已开展多维度研究，在润滑理论方面通过雷诺方程改进揭示了油膜厚度与温度场的耦合关系，故障诊断领域则发展了基于振动信号、油液光谱分析和红外测温的复合监测技术。但现有检修策略仍以周期性计划检修为主，存在维修不足或过度维修的矛盾，无法精准应对轴瓦温度异常的多因性和突发性特征。因此本文提出基于状态评估的检修优化方案，实现轴瓦温度故障的精准治理，为提升汽轮机组的可靠性和经济性提供理论支撑与工程实践参考。

一、轴瓦温度异常的原因分析

（一）润滑系统问题

润滑系统问题是导致轴瓦温度异常的核心诱因，主要表现为润滑油污染恶化、油量不足以及油温异常的情况。油质恶化主要表现为颗粒污染、水分侵入及氧化变质，其中固体颗粒会加剧轴瓦表面磨损并堵塞油道，水分与油液混合形成乳化液降低润滑效

能，而氧化产物则增加油液粘度并生成漆膜附着于轴瓦表面，三者共同削弱油膜承载能力。油量不足或分布不均常由供油压力不足、油路堵塞或轴瓦间隙设计不当引发，当油泵出力下降或滤网堵塞时，轴瓦供油流量减少导致油膜厚度变薄，而轴瓦间隙过大或过小均会破坏油楔效应，前者使油膜刚度降低引发振动，后者则增加摩擦功耗并加剧温升^[1]。油温异常与冷却系统效能及负荷波动密切相关，冷却水管结垢或冷却介质流量不足会导致散热能

力下降，而汽轮机负荷突变时油膜压力分布瞬时改变，局部高温区可能突破油液闪点引发热分解，同时高温环境下油液粘度指数下降进一步恶化润滑条件。

（二）安装与制造缺陷

安装与制造缺陷也会引发轴瓦温度异常，而且这种影响具有累积性和隐蔽性。轴瓦间隙作为关键设计参数，其偏差直接决定油膜形成质量，间隙过小会导致轴瓦与轴颈的金属接触面积增加，摩擦功耗转化为热量引发局部温升，而间隙过大会使油膜厚度超出临界值，在转子高速旋转时产生油膜涡动甚至振荡，这种非线性振动进一步加剧温度波动。比如，对中偏差是安装过程中常见的系统性误差^[2]，会改变油楔角度，使油膜压力分布失衡，形成高温区与低温区的梯度分布。轴瓦材料问题主要表现为工艺缺陷或材质选型不当，运行中产生交变应力引发疲劳裂纹；磨损通常由轴瓦表面粗糙度超标或异物嵌入引起，而腐蚀则多因油液中酸性物质侵蚀或电化学作用导致合金成分流失，这些缺陷均会破坏轴瓦表面完整性，降低其抗咬合能力和导热性能，最终形成局部热点并引发温度异常。

（三）运行工况影响

汽轮机的运行工况一般比较复杂，当运行过程中负荷突变，汽轮机转子轴向推力和径向载荷发生瞬时变化，轴瓦承受的比压超出设计阈值，油膜厚度在局部区域被压缩至临界值以下，导致金属表面微凸体直接接触，摩擦功耗急剧增加并转化为热量，引起温度异常^[3]。汽轮机设备所在的环境也会影响轴瓦温度变化，高温环境下轴瓦与周围介质的温差减小，热传导效率降低，而通风不良导致空气对流散热受阻，两者共同作用使轴瓦热量累积速率超过散热能力。

（四）监测与维护不足

监测与维护不足一般是汽轮机轴瓦温度异常的间接因素，当对设备的监测和维护不足时，传感器的误差、异常可能会无法被及时检测到，导致设备出现故障。比如温度传感器故障主要表现为信号漂移、接触不良或量程超限，这类硬件缺陷会导致监测数据失真，使运维人员误判轴瓦实际运行状态，当传感器接触端氧化时，测量温度可能低于真实值，掩盖潜在的温升趋势。

数据采集系统误判则常由算法缺陷或阈值设置不合理引发，如未考虑机组启停过程中的动态特性，误将瞬态温度波动归类为正常范围，错失早期预警时机。检修周期不合理体现为计划检修与实际工况的错配。此外，还有检修工艺执行不到位，如轴瓦间隙调整的误差，油质检测不到位等。监测与维护不到位会增大设备故障的概率，监测数据的不可靠性导致维护决策失误，而不当的维护操作又进一步降低监测系统的可信度，最终削弱整个故障防控体系的有效性。

二、检修优化策略

（一）状态监测技术优化

状态监测技术优化中的多参数联合监测是突破传统单一参数诊断局限性的关键手段，其核心在于通过构建多维数据融合模型

实现故障特征的交叉验证与协同分析。轴瓦温度异常往往伴随振动幅值增大、油压波动及油液理化指标变化等多维度特征，单一温度传感器易受环境干扰或测量误差影响，难以准确反映故障本质。多参数联合监测通过在轴瓦关键部位布置分布式光纤测温阵列、加速度振动传感器及压力变送器，同步采集温度场分布、振动频谱和供油压力数据，利用时间序列对齐算法建立参数间的时空关联。例如，当轴瓦局部温度升高时，若同步监测到振动信号中出现1X频率成分增强及油压脉动，则可综合判断为转子不平衡引发的油膜失稳^[4]；若温度升高伴随油压下降和油液颗粒度增加，则更倾向于油路堵塞或油质恶化。通过多参数联合监测，不仅能提高故障识别的灵敏度和准确率，还可实现从被动报警到主动预测的转变。

（二）检修工艺改进

检修工艺改进中的对中精度提升与油质在线净化技术是实现轴瓦温度异常精准治理的关键举措。激光对中技术通过发射激光束并利用高灵敏度接收器获取转子与轴瓦的相对位置偏差，结合三维建模软件实时计算调整量，相比传统百分表法将对中误差从0.1mm级降至0.02mm级，显著减少因中心线偏差导致的附加弯矩和局部接触应力，从而降低轴瓦温升风险。油质在线净化系统采用多级过滤与离心分离相结合的复合处理工艺，通过旁路循环将油液中的固体颗粒（控制至5 μ m以下）、水分（ $\leq 0.05\%$ ）及胶质物持续去除，同时集成的在线颗粒计数器、水分传感器和粘度变送器可实时监测油液品质参数，当污染度超过NAS8级时自动触发反冲洗程序，避免因油质劣化引发的润滑失效^[5]。

（三）材料与结构升级

材料与结构升级通过提升轴瓦本体的物理性能与流体力学特性，从根源上抑制温度异常的发生。含银巴氏合金突破了传统锡基合金的耐高温极限^[6]，银元素的添加可细化晶粒并形成弥散强化相（如图1），使合金熔点提升至420℃以上，同时银离子的抗菌特性有效延缓油液氧化变质，其显微硬度较常规巴氏合金有良好提高，能增强抗咬合能力。在结构优化方面，导流槽的设计采用计算流体力学（CFD）仿真技术，通过在轴瓦承载区开设螺旋状导流槽，将油膜厚度标准差降低30%，使油液在周向和轴向分布更趋均匀，避免局部高压区形成。此外，增设的温度补偿型油囊结构可根据工况自动调节供油量，在负荷突变时通过弹性变形维持油膜厚度稳定。这些改进能使轴瓦表面最高温度降低，临界热负荷提升^[7]。

（四）运行管理优化

运行管理优化中的负荷变化速率限制与冷却系统维护是预防轴瓦温度异常的重要防线。制定负荷变化速率限制可有效抑制轴瓦冲击载荷，通过将汽轮机负荷变化率控制在每分钟5%–8%额定负荷范围内，可避免因轴向推力突变导致的油膜厚度骤减，同时降低油膜压力波动幅值达25%以上，显著提升油膜稳定性。冷却系统维护则需建立定期清洗制度，通过化学清洗去除换热器结垢并恢复换热效率，同时采用在线监测技术实时跟踪冷却介质流量与温度，当油温偏离设计值 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 时自动启动辅助冷却装置，确保轴瓦工作温度稳定在65–80℃的最佳区间^[8]。

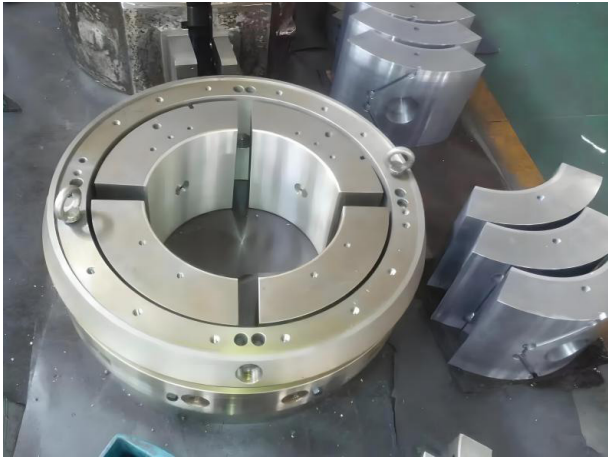


图1 含银巴氏合金轴瓦

三、案例分析

（一）故障现象

某电厂CLN660-24.2/566/566型机组#3轴瓦温度持续升高至110℃，超过报警阈值上限。该机型采用可倾瓦结构，理论上具有较好的油膜稳定性，但因中压缸蒸汽参数高（566℃、6.3MPa），轴瓦承受较大热负荷与机械应力，易引发温度异常。

（二）故障分析

考虑到CLN660型机组特点，检测发现油液中固体颗粒浓度达NAS10级（超标3级），主要成分为巴氏合金磨损碎屑及氧化铁；轴瓦间隙测量显示局部磨损量达0.15mm（设计值0.10-0.12mm），结合可倾瓦块摆动角度分析，判定因油质污染导致瓦块与轴颈异常摩擦，加剧温升。

（三）解决方案

基于该机型轴承配置（1-8号可倾瓦），采取针对性措施，如

表1所示。

表1 技术解决方案

解决方向	具体措施
材料与结构方面	①更换含银巴氏合金轴瓦（耐温性提升至420℃），优化瓦块表面导流槽设计以改善油膜分布
油路系统清理	②采用高压水射流清洗油路系统，清除结垢与沉积物，并在旁路加装高精度双筒过滤器（过滤精度3μm）
误差控制方面	③调整可倾瓦摆动支点预紧力，确保瓦块自适应能力，同时对中压缸转子进行激光对中（误差控制在0.03mm以内）

（四）效果验证

按照技术方案对汽轮机进行优化之后，#3轴瓦温度稳定在78-82℃，油液颗粒度降至NAS6级，机组满负荷运行时振动幅值由80μm降至45μm，成功解决因油质污染、结构磨损与对中偏差协同引发的温度异常问题，验证了针对CLN660型机组可倾瓦特性的检修优化方案的有效性。

四、结语

汽轮机轴瓦温度异常问题关乎汽轮机组的安全稳定运行与经济效益。本文通过系统分析其故障原因，从润滑系统、安装制造、运行工况和监测维护等多方面深入探究，进一步明确了引发轴瓦温度异常的复杂因素^[9]。同时，针对性地提出检修优化策略，涵盖状态监测技术、检修工艺、材料结构以及运行管理等层面，这些优化策略相互配合，为解决轴瓦温度异常问题提供了全面有效的方案^[10]。

参考文献

- [1] 郭雅冬. 汽轮机轴瓦的常见故障及检修技术分析 [J]. 电工技术, 2023, (14).
- [2] 李珂, 张望, 陆鹏, 等. 离心式压缩机轴瓦温度波动原因探析及解决措施 [J]. 合成润滑材料, 2024, 51(03): 48-52+60.
- [3] 魏学斌. 汽轮机轴瓦温度高原因分析和技术改造 [J]. 设备管理与维修, 2024, (12): 153-155.
- [4] 张巍, 楼昕皓, 张献峰, 等. 某核电汽轮机组高中压缸轴瓦两侧温差大原因分析 [J]. 东方汽轮机, 2024, (02): 70-74.
- [5] 徐鹏程, 汤杰杰, 马大卫. 660MW 机组轴瓦温度超标分析与处理 [J]. 电力安全技术, 2023, 25(03): 29-31.
- [6] 高峰, 李福长. 汽轮机检修中的关键点探究 [J]. 硅谷, 2015, 8(01): 113+115.
- [7] 鲁迎龙. 电厂汽轮机检修及维护技术要点分析 [J]. 设备管理与维修, 2022, (14): 64-65.DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2022.07D.28.
- [8] 张晖. 660MW 机组冷端优化技术的应用 [J]. 集成电路应用, 2021, 38(12): 276-277.DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2021.12.129.
- [9] 史进洲. 基于设计寿命的汽轮机检修周期优化方法的研究 [J]. 动力工程学报, 2020, 40(07): 530-539.DOI:10.19805/j.cnki.jcspe.2020.07.003.
- [10] 石霖. 电厂汽轮机检修中油系统常见故障与应对 [J]. 科技风, 2019, (35): 138.DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.201935116.