

斜式轴流泵导轴承磨损机理分析及运行维护对策探讨

华一峰

杭州市南排工程建设管理服务中心 浙江 杭州 310020

【摘要】：斜式轴流泵为水利工程防洪排涝的核心设备，导轴承于斜置工况下承担载荷传递作用，介质含砂、水流扰动与启停冲击交织，诱致磨粒、疲劳、粘着及腐蚀磨损多效耦合，危及泵组运行安全。围绕这一困境，本文通过解析失效生成路径，建构分级管控策略，优化运维标准架构，实施全周期监测与隐患前置治理，推动运维精细化管理，延展服役时长，降低运行成本，为水利工程长效稳健运行提供技术支撑，凸显实践应用效能。

【关键词】：斜式轴流泵；导轴承；磨损与运维

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.018

引言

斜式轴流泵是水利防洪排涝的关键装备，导轴承负责轴系支撑与对中保障，其运行状态直接决定泵组可靠性。受斜置安装结构影响，导轴承长期承受复合载荷，加之介质含砂、启停冲击等因素，磨损故障频发，制约设备长周期稳定运行。当前部分泵站运维针对性不足，难以应对多机理耦合磨损问题。为此，本文深入剖析导轴承磨损机理并构建完善运维体系，对解决现场实际难题、保障水利工程安全运行具有重要实践价值。

1 斜式轴流泵导轴承运行维护重要性

斜式轴流泵在水利工程防洪排涝等场景应用普遍，导轴承作为核心部件，承担泵轴支撑、轴系径向摆动限制与对中精度保障职能^[1]。斜置安装形式让导轴承持续承受轴向与径向复合载荷，叠加输送介质含砂特性、水流冲击及启停扰动等作用，工况严苛程度远超立式轴流泵。见图1

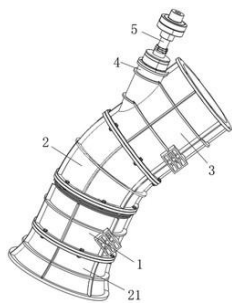


图1 斜式轴流泵整体结构示意图

注：1 检修口；2 泵体弯管段；3 泵轴；4 导轴承安装座；5 轴端调节机构；21 出水段

导轴承过度磨损易诱发轴系振动加剧、密封结构损坏、叶轮与泵壳碰磨等连锁问题，造成泵组运行效率下滑、非计划停机，干扰排涝供水等民生保障与生产作业有序推进。导轴承运行维护的科学化实施，能够提前排查磨损隐患，减缓磨损发展，稳固轴系运行

状态，延长部件服役周期，控制运维投入，为斜式轴流泵组长效高效安全运转筑牢核心支撑，对泵站运维管理水平提升与水利工程安全稳定运行发挥关键作用。

2 斜式轴流泵导轴承磨损机理分析

斜式轴流泵导轴承磨损属多因素耦合的复杂过程，斜置安装形态让导轴承持续承受径向支撑力与轴向分力的复合载荷，轴系运行伴随周期性交变应力，为磨损发生奠定力学基础。输送介质中夹杂的泥沙等硬质颗粒，在轴颈与轴瓦相对运动中侵入轴承间隙，产生切削与碾压作用，斜置结构下颗粒更易在轴承下部积聚，持续强化磨粒磨损效应，启停阶段轴承间隙的动态变化，进一步提升颗粒嵌入轴瓦表面的概率。复合交变载荷反复作用于轴瓦表面，促使微裂纹萌生并逐步扩展，最终导致表面剥落，诱发疲劳磨损，斜置结构带来的应力集中效应，进一步加速疲劳磨损演进。水润滑或油润滑膜遭遇冲击载荷、介质扰动发生破裂时，轴颈与轴瓦直接接触，局部高温引发粘着撕裂现象，形成粘着磨损。介质中的腐蚀性成分与磨损产生的新鲜表面发生电化学反应，催生腐蚀-磨损耦合效应，持续加快导轴承失效进程^[2]。

3 斜式轴流泵导轴承运行维护对策

3.1 分级差异化运维管控

斜式轴流泵导轴承运维管控需聚焦设备全生命周期状态，搭建分级差异化管理框架，实现运维资源精准投放与高效运转。依据导轴承运行工况、磨损程度、服役时长及泵组重要性维度，划分A、B、C三类运维等级，差异化制定巡检频次、维护举措与检修规范。A类归属核心关键导轴承，适配承担防洪排涝、民生供水等核心任务的主泵组，其服役年限超8年、磨损量逼近预警阈值或存在历史磨损故障记录，日常巡检压缩至每周1次，每月开展轴系振动、轴承温度、间隙值专项检测，每季度实施轴瓦磨损深度拆解核验，

同步建立设备健康档案,动态追踪磨损演变态势,档案中详细记录每次检测数据、异常情况及处置措施,为趋势分析提供完整数据支撑^[3]。B类为一般重要导轴承,对应辅助泵组、备用泵组,服役年限3至8年且磨损量处于安全区间,巡检周期设定为每两周1次,每季度开展专项检测,每半年进行拆解核验,在保障运行安全前提下合理管控运维成本,检测过程中重点关注润滑系统状态与密封性能变化,及时发现潜在隐患。C类涵盖新投运或状态良好导轴承,服役年限不足3年、磨损量远低于预警阈值,巡检周期为每月1次,每半年开展专项检测,每年实施拆解核验,重点关注初期磨合阶段磨损规律,提早识别异常工况,尤其跟踪新设备运行初期的参数波动与适配情况。分级管控核心在于运维强度与设备风险精准匹配,A类导轴承需制定专项运维方案,优化泵组启停流程,降低启停冲击带来的交变载荷影响,汛期、高负荷运行等特殊工况下增加临时巡检频次,实时监控轴承运行状态;B、C类导轴承采用状态检修模式,依托在线监测数据动态调整运维策略,规避过度检修造成的资源损耗。分级管控实施中,建立导轴承状态评估模型,以轴系振动值、轴承温度、间隙变化量、磨损深度为核心评估指标,结合介质含砂量、运行负荷、启停频次等工况参数,实现健康状态量化评估,为运维等级动态调整提供数据支撑,保障运维管控精准性与时效性。相关分级管控指标参照《泵站技术管理规程》SL255-2021执行,可有效契合水利泵站现场运维管理需求,适配不同规模泵站的差异化运维场景。

3.2 科学制定运维技术标准

斜式轴流泵导轴承运维技术标准的科学构建,是规范运维流程、保障运维质量、防范磨损故障的核心基础,需立足导轴承结构特性、磨损机理与运行工况,搭建覆盖全流程的标准化运维体系。标准制定聚焦导轴承设计参数、运行工况、磨损阈值,明确日常巡检、定期检测、维护保养、检修更换各环节技术要求与操作规范。日常巡检标准中,界定轴承温度、轴系振动、润滑水压力与流量、密封泄漏量等关键参数巡检内容,划定各参数正常运行范围、预警阈值及处置流程——轴承温度正常区间30℃至60℃,超70℃触发预警,需即刻排查异常;轴系径向振动幅值正常不超0.05mm,逾0.08mm需开展专项检测,上述阈值依据《水利工程水泵机组运行技术规范》确定。定期检测标准明确检测周期、检测方法 with 合格判定标准,导轴承间隙检测采用塞尺法或百分表法,泵组停机状态下沿轴周向均匀选取4个检测点,测量轴颈与轴瓦间隙,新安装

导轴承间隙标准0.15mm至0.25mm,运行中允许最大间隙不超0.4mm,超阈值需检修或更换;轴瓦磨损深度检测采用超声波测厚仪或千分尺,检测各部位磨损量,最大磨损深度不超轴瓦厚度1/3,超标准需及时更换轴瓦。维护保养标准明确润滑系统维护要求,水润滑导轴承需保障润滑水水质、压力与流量,润滑水经过滤处理,含砂量不超50mg/L,压力维持0.2MPa至0.4MPa,流量满足轴承冷却与润滑需求,定期清洗润滑水过滤器,避免泥沙进入轴承间隙;油润滑导轴承明确润滑油型号、换油周期与油质检测标准,每6个月开展1次油质检测,监测粘度、水分、杂质含量等指标,油质劣化时及时更换,定期检查轴承密封结构,防止润滑油泄漏与介质侵入。检修更换标准明确导轴承检修周期、检修工艺与验收标准,导轴承每3至5年进行1次全面拆解检修,检修中严格执行轴系对中工艺,确保轴系同轴度误差不超0.02mm/m,轴瓦安装间隙符合设计要求,检修完成后开展空载试运行与带负荷试运行,验证导轴承运行状态,各项参数达标后方可投入正式运行。运维技术标准需结合现场运行数据与磨损故障案例,定期修订完善,将新型检测技术、维护工艺纳入体系,提升标准适用性与先进性,为导轴承运维工作提供全面精准的技术遵循^[4]。

3.3 实施全周期运维状态监督

斜式轴流泵导轴承全周期运维状态监督的落地,是磨损故障提前预警、泵组安全稳定运行的关键支撑,需搭建覆盖设计、安装、运行、检修、报废全生命周期的监督框架,实现运行状态实时监控、动态评估与精准管控。设计与安装阶段聚焦源头把控,严格审核导轴承设计方案,结合泵站实际工况参数校验结构形式、材料选型、间隙设计的适配性,确保契合斜式轴流泵斜置工况与复合载荷需求,重点核查轴瓦材料耐磨性、耐腐蚀性及承载能力,通过模拟仿真测试验证设计合理性,规避设计缺陷诱发的早期磨损;安装过程中严守安装工艺标准,采用激光对中仪、扭矩扳手等专业工具有把控轴系对中、轴瓦安装、密封结构安装等关键工序,同步记录安装数据形成可追溯档案,保障安装精度符合设计要求,从源头降低磨损风险。运行阶段构建在线监测与离线检测协同的全周期状态监督体系,在线监测系统部署轴系振动、轴承温度、润滑水压力流量、密封泄漏监测等高精度传感器,实时采集运行参数并传输至管控平台,建立动态更新的状态数据库,借助大数据分析 with 人工智能算法搭建磨损状态评估模型及故障预警模型,实现磨损状态实时评估与多级异常预警,监测数据超预警阈值时自动触

发短信、平台弹窗提醒,提示运维人员及时处置;离线检测定期开展导轴承间隙、轴瓦磨损深度、油质等专项检测,补充在线监测数据盲区,全面掌握磨损状态,为运维决策提供多维度数据支撑。检修阶段落实检修过程监督与检修后状态验证,严格把控检修工艺执行情况,核查轴瓦更换、轴系对中、密封修复等关键工序施工质量,确保检修质量达标;检修完成后开展试运行监督,监测运行参数验证检修效果,推动导轴承运行状态恢复正常。报废阶段开展失效分析,拆解报废导轴承,研判磨损形态、磨损程度及失效原因,总结磨损规律与运维经验,优化后续设计、运维及检修方案,形成全周期监督闭环管理。建立运维状态监督责任体系,明确各环节监督责任主体,制定监督考核标准,定期开展监督检查,确保全周期监督工作落地见效,全面提升导轴承运维管理水平。

3.4 强化磨损隐患源头治理

斜式轴流泵导轴承磨损隐患的源头强化治理,是从根本上延缓磨损、延长服役周期的核心支撑,需瞄准磨损核心诱因,围绕介质处理、结构优化、润滑保障、运行管控等维度,推行系统性源头管控。针对磨粒磨损主导诱因,强化介质含砂管控,泵组进水口配置多级过滤装置(格栅、旋流除砂器、精密过滤器),分级拦截泥沙等硬质颗粒,降低轴承间隙颗粒侵入量——旋流除砂器可分离粒径大于 0.05mm 泥沙,精密过滤器进一步截留细小颗粒,确保润滑水含砂量契合运维标准;定期清理过滤装置避免堵塞失效,优化泵站进水池结构增设沉砂池,定期清淤削减进水含砂量,从源头切断磨粒磨损物质基础。针对斜置结构引发的复合载荷与应力集中问题,推进结构优化管控,改良导轴承结构形式,采用自润滑轴瓦、弹性支撑轴瓦等新型构型,提升承载能力与抗磨损性能,弹性支撑轴瓦可通过弹性变形缓冲轴系交变载荷,减轻表面应力

集中;运用激光对中技术优化轴系对中工艺,提升同轴度精度,减少轴系偏斜诱发的附加载荷,降低磨损速率;采用软启动、变频启动等方式优化泵组启停控制,减轻启停阶段冲击载荷,规避轴承间隙动态变化导致的颗粒嵌入与粘着磨损。针对润滑失效诱发的磨损问题,强化润滑系统管控,优化润滑水系统设计,增设稳压装置与流量调节装置,保障润滑水压力、流量稳定,满足冷却与润滑需求,润滑水系统内置在线监测设备,实时监控水质、压力与流量,异常时自动告警并启动处置流程;油润滑导轴承优化润滑油路设计,采用强制润滑系统提升循环冷却效果,定期开展油质检测与过滤处理,保障润滑性能,防范润滑失效引发的粘着磨损。针对腐蚀磨损问题,强化防腐管控,选用高分子复合材料、陶瓷涂层轴瓦等耐腐蚀优异的轴瓦材料,提升抗腐蚀能力;导轴承表面施加防腐涂层,阻隔介质与表面接触,抑制腐蚀反应;定期开展防腐检测与维护,及时修复破损涂层,保障防腐成效。建立磨损隐患排查治理长效机制,定期开展全面排查,建立隐患台账,明确整改责任、措施与时限,实行闭环管理,定期评估隐患治理效果,持续优化方案,从根本上消除磨损隐患,保障斜式轴流泵组长效高效安全运转^[5]。

4 结语

斜式轴流泵导轴承磨损由复合载荷、介质特性等多因素耦合导致,磨粒、疲劳、粘着及腐蚀-磨损耦合机理共同作用加速失效。本文提出的分级管控、标准化运维、全周期监督与源头治理对策,形成完整运维体系,可有效延缓磨损、降低故障发生率。实践证明,该体系能提升导轴承运行稳定性、延长使用寿命、降低运维成本。未来可融合智能监测与大数据技术,进一步优化运维策略,为泵组高效安全运行提供更全面保障。

参考文献:

- [1] 费照丹,徐辉,牟童,冯建刚,郑源,陈曜辉.不同叶顶间隙条件下斜式轴流泵空化流动与能量性能研究[J].农业机械学报,2025,56(4):293-302334.
- [2] 郑海生,周佩剑,肖刚,牟介刚,项春,钱亨.基于 HBA-SVR 混合模型的斜式轴流泵变角性能预测[J].计量学报,2025,46(2):190-197.
- [3] 胡文竹,仝道斌,李忠斌,王瑞,杨帆.斜式轴流泵装置内流特性数值分析与验证[J].灌溉排水学报,2021,40(11):66-72.
- [4] 王挺.大型斜式轴流泵叶角调节失控检修与分析[J].工程建设与设计,2025(10):70-72
- [5] 戴景,刘雪芹,袁聪,赵林章,卜舸,仲子夜,戴启璠.斜式泵装置负扬程飞逸过渡过程内部流动特性分析[J].水电能源科学,2022,40(6):122-126.