

大型立式水泵中的水导轴承故障分析

荣逆群 董东方

南水北调东线江苏水源有限责任公司扬州分公司 江苏扬州 225000

摘要: 本文介绍了水导轴承的结构组成、工作原理及润滑方式,分析了运行环境对其性能的影响。探讨了常见故障类型,包括磨损、腐蚀、润滑失效、振动异常及热膨胀等,并归纳总结了造成故障的主要原因,如设计缺陷、负荷波动、水质污染及维护不当。针对这些问题,提出了多项预防与维修对策,包括优化结构设计、提升材料耐久性、完善润滑冷却系统、强化日常监测及应急处理能力。研究结果对提升水导轴承运行可靠性、延长使用寿命具有实际指导意义。

关键词: 大型立式水泵; 水导轴承; 故障分析

引言

大型立式水泵广泛应用于水利、电力、冶金等行业,是保障流体输送系统高效运行的核心设备。其中,水导轴承作为其关键支撑部件,直接关系到水泵的稳定性和使用寿命。然而,在长期运行过程中,水导轴承常因设计缺陷、润滑失效、水质问题及运行工况波动等因素发生故障,严重影响设备安全与运行效率。近年来,随着设备大型化和自动化水平的提升,水导轴承故障的频率与复杂性也在上升。本论文从结构与工作原理出发,系统梳理常见故障及成因,并提出针对性的预防和修复措施,旨在为工程实践提供技术参考与改进思路。

一、大型立式水泵水导轴承的结构与工作原理

(一) 水导轴承的结构组成

大型立式水泵中的水导轴承是关键的支承部件,其结构设计直接关系到泵的稳定运行。通常,水导轴承由轴承体、轴瓦、密封装置和冷却系统等组成。轴承体作为整体承载框架,固定在泵体内,承载轴衬瓦并确保其位置稳定。轴瓦通常采用耐磨材料制成,内表面经过精密加工以保证与轴颈的良好接触面。密封装置主要防止

润滑水外泄和杂质进入,保证轴承的正常润滑^[1]。部分水导轴承还配备有冷却通道或环形槽,以实现水流冷却和润滑的双重功能。

(二) 水导轴承的工作原理及润滑方式

水导轴承的核心工作原理是利用水作为润滑介质,形成液体动压力膜来支撑转子轴,减小摩擦和磨损。当轴承轴颈旋转时,轴瓦与轴颈之间的间隙中水被带动,形成液体压力,使轴颈悬浮于水膜之上,从而实现无接触的旋转支承。这种润滑方式称为水润滑,依赖于水的流动性和压力特性。水导轴承的润滑效果取决于水的流量、压力和洁净度,必须保持水质清洁且流动稳定,避免出现气蚀或污染物堵塞。由于水的粘度远低于油类润滑剂,水导轴承设计中通常会采用较大的间隙和精确的流体动力学计算,确保稳定的液膜厚度和承载能力,保障轴承的正常运转。

(三) 运行环境对水导轴承的影响因素

大型立式水泵水导轴承的运行环境复杂多变,对其性能和寿命影响显著。首先,水质是关键因素之一,水中杂质如沙粒、泥沙及腐蚀性物质会加剧轴承磨损和腐蚀,影响润滑膜的形成和稳定。其次,运行负荷和转速变化会引起轴承的振动和温升,若超过设计极限则易导致润滑失效和结构损伤。温度变化对水的粘度和流动性产生影响,温度过高会降低水的润滑效果,导致轴承过热。水流冲击和气蚀现象也可能对轴承造成机械冲击和疲劳损伤。环境中的机械振动、安装误差以及维护不当同样会加速轴承故障。

二、水导轴承常见故障类型分析

(一) 磨损与腐蚀故障

大型立式水泵的水导轴承在长期运行过程中,最常

作者简介:

1. 荣逆群(1988.03-),男,江苏宿迁人,汉族,中级职称,本科学历,研究方向为大型水泵机组维修和安装技术方面。

2. 董东方(1988.07-),男,江苏徐州人,汉族,中级职称,本科学历,研究方向为大型水泵机组维修和安装技术方面。

见的故障之一是磨损与腐蚀。磨损主要由于轴颈与轴瓦间润滑水膜不稳定或局部破裂导致金属表面直接接触，从而引起摩擦加剧，导致轴承材料逐渐损耗。尤其是在水质含有砂粒、杂质等硬质颗粒时，磨损速度显著加快，甚至出现划痕和凹坑。腐蚀则是由于水中的化学物质，如酸性或碱性物质、氧化剂等，与轴承材料发生化学反应，破坏材料表面，削弱轴承的机械强度。腐蚀不仅降低轴承寿命，还可能引发裂纹和结构损坏。磨损与腐蚀往往交织存在，相互促进，造成轴承性能快速下降，严重时导致轴承失效和设备停机。

（二）润滑失效导致的故障

润滑失效是水导轴承故障的另一重要原因。水导轴承依靠水膜形成液体动压力来实现无接触支撑，一旦润滑水供应不足、水压下降或水膜破裂，润滑失效便会发生。润滑失效会导致轴颈与轴瓦发生金属直接接触，摩擦系数急剧升高，迅速引起局部过热、磨损和表面损伤。润滑水中若含有杂质或气泡，也会导致液膜不均匀甚至破裂，影响轴承承载能力。润滑系统的堵塞、滤网失效、泵内水流异常等因素均可引起润滑失效。润滑失效不仅加剧机械损伤，还可能导致轴承振动增加，影响整个水泵系统的稳定性。为避免润滑失效，应保障润滑水质和流量的稳定，完善监测和维护系统，及时发现和排除润滑异常。

（三）振动异常与轴承变形

水导轴承在运行过程中，由于各种内外部因素的影响，常出现振动异常和轴承变形现象。振动异常可能由轴承本体结构缺陷、安装不当、轴颈磨损不均、润滑失效或外部机械冲击引起。过大的振动不仅影响设备的运行平稳性，还会导致轴承的疲劳损伤和松动，进而引发轴承零部件的变形。轴承变形主要表现为轴瓦弯曲、轴承体开裂或轴颈变形，严重时破坏液体动压力的形成条件，降低轴承承载能力^[2]。振动异常和变形问题若未及时处理，可能诱发更严重的机械故障，甚至引发设备整体失效。因此，定期进行振动监测、结构检测和调整安装精度是防止振动异常与变形的有效措施。

（四）热膨胀及温度异常引发的问题

温度异常是水导轴承故障的重要诱因之一。运行过程中，轴承受摩擦和液体阻力产生热量，若冷却和润滑系统不畅，热量难以及时散发，会导致轴承局部过热。过热引发轴承材料的热膨胀，可能导致轴瓦与轴颈之间间隙变小甚至接触，破坏液体动压力膜，进一步加剧摩擦和损伤。温度异常还会影响水的粘度和流动特性，降低润滑效果。长期高温环境还可能引起材料性能退化，

如金属疲劳和塑性变形。温度异常还易造成热应力集中，导致轴承结构开裂或密封件失效。为避免热膨胀及温度异常问题，必须优化冷却系统设计，保证润滑水的流量和温度稳定，配备有效的温度监测和报警装置，及时发现和处理异常温升，保障轴承的安全稳定运行。

三、水导轴承故障成因探讨

（一）设计缺陷与制造误差

大型立式水泵水导轴承的设计质量直接影响其运行性能和寿命。设计缺陷通常表现为轴承结构不合理、润滑系统布局不科学、轴瓦与轴颈的间隙设计不准确等问题。若轴承设计未能充分考虑运行工况的多样性和极端情况，容易导致液膜压力不足，润滑失效，从而加速轴承磨损。制造过程中存在的误差，如轴瓦加工精度不足、材料选择不当、装配不规范等，也会使轴承运行状态偏离设计标准，产生局部应力集中或润滑不均匀，最终导致早期故障。设计与制造的缺陷还可能导致轴承与机组其他部件的配合不良，增加振动和冲击载荷，进一步损害轴承。为了减少此类问题，应加强设计阶段的计算模拟与实验验证，严格控制制造工艺和装配质量，确保轴承达到设计要求。

（二）运行工况异常及负荷变化

水导轴承在运行过程中面临各种工况变化，异常运行状态是导致故障的重要原因之一。大型立式水泵常因启动频繁、负荷波动大或运行超负荷而引起轴承压力和温度异常变化。负荷突然增加会导致轴承承载能力超出设计范围，液体动压力膜难以维持，产生直接接触和磨损。同时，工况异常如水泵发生气蚀、流量波动、转速变化等，也会引发轴承振动加剧和热应力集中，导致疲劳损伤。长期处于非理想工况运行，会显著缩短轴承寿命。有效的解决方案包括优化泵站运行策略，避免频繁启停和超负荷运行，以及安装监测系统实时掌握工况变化，及时调整运行参数。

（三）维护保养不当

维护保养是保障水导轴承正常运行的重要环节，不当的维护管理往往是轴承故障的主要诱因之一。不规范的维护操作如润滑系统未及时清洗、润滑水过滤装置失效、未定期更换磨损部件或忽视振动和温度异常信号，都会加速轴承劣化。维护人员专业技能不足、维护计划不完善或缺乏针对性的故障预防措施，导致问题无法早期发现和处理，进一步加剧故障风险。维护保养不当还可能导致密封失效，杂质进入轴承，损害轴瓦和轴颈^[3]。为避免此类问题，应建立科学的维护制度，强化技术培训和现场管理，推行预测性维护技术，确保设备长期安

全稳定运行。

(四) 水质及杂质影响

水质状况是影响大型立式水泵水导轴承寿命的重要外部因素。润滑水中含有的杂质如砂粒、铁锈、悬浮物等，易进入轴承间隙，导致机械磨损和腐蚀。尤其是在水源水质较差或过滤系统失效时，杂质浓度升高，磨损速度加快，甚至引发轴承卡死或严重损伤。同时，水中的化学成分如酸碱度、含氧量等变化，会引起材料腐蚀和疲劳，影响轴承的结构完整性。水温 and 流速不稳定也会影响润滑效果，降低液膜承载能力。为减轻水质影响，应加强水源保护和水处理工艺，安装高效过滤及监测设备，定期检测水质，及时排除杂质，保证润滑水清洁和流动稳定，从源头减少轴承故障风险。

四、水导轴承故障预防与维修对策

(一) 改进设计与材料选择

为了有效预防大型立式水泵水导轴承的故障，首先应从设计和材料入手进行改进。合理的设计能够确保轴承结构的稳定性和润滑系统的有效性，减小机械应力集中和磨损风险。设计时应采用先进的计算模拟技术，精准计算轴承间隙、液膜厚度及压力分布，优化轴瓦形状和冷却通道布局，以提高承载能力和润滑效果。同时，材料的选择至关重要。应选用耐磨损、耐腐蚀、抗疲劳的高性能合金材料，或者采用表面强化处理技术，如陶瓷涂层或氮化处理，提高轴承的耐久性和抗腐蚀能力。设计改进还应充分考虑运行环境和工况变化，确保轴承具备良好的适应性，从根本上减少因设计缺陷引发的故障。

(二) 优化润滑与冷却系统

水导轴承的润滑和冷却系统是保障其稳定运行的关键环节。优化润滑系统应确保润滑水的流量和压力满足设计要求，防止润滑失效。应采用高效的过滤装置，去除润滑水中的杂质，防止颗粒磨损。同时，润滑水的温度和流速需要实时监控，防止过热现象发生。冷却系统应设计合理，保证轴承在高负荷和长时间运行时能够有效散热。改进措施包括增加冷却通道数量或优化冷却水流路径，采用自动调节温控装置，实现智能化调节^[4]。润滑与冷却系统应定期维护，防止管路堵塞和阀门失效，保证系统长期稳定工作。通过全面优化润滑和冷却，能够显著提升轴承的运行安全性和寿命。

(三) 定期监测与维护措施

定期监测和科学维护是预防水导轴承故障的重要保障。应建立完善的监测体系，对轴承的振动、温度、压力及润滑水质量等关键参数进行实时监控，及时发现异常变化。通过安装振动传感器、温度传感器及流量计等

设备，可以实现远程在线监测，便于快速响应潜在问题。维护方面，应制定详细的维护计划，定期清理润滑系统、更换磨损轴瓦和密封件，确保设备处于良好状态。维护人员需接受专业培训，掌握正确的检测方法和维修技能。采用预测性维护策略，通过数据分析预测故障趋势，提前采取措施，减少意外停机风险。定期的监测与维护能够有效延长轴承寿命，提升设备运行的可靠性。

(四) 故障快速诊断与应急处理

建立科学的故障诊断流程，通过振动分析、温度监测和润滑水检测等手段，准确判断故障类型及严重程度。借助现代诊断技术，如声发射检测、红外热成像及在线润滑油分析，可以提高故障识别的速度和准确性。应急处理措施包括立即调整运行参数，减轻轴承负荷，切断故障部位润滑，实施临时冷却措施等，防止故障进一步扩大。对于严重故障，需及时停机检修，更换损坏零件，并分析故障原因，避免类似问题重复发生。同时，应建立应急预案和快速反应机制，配备必要的备件和工具，确保在突发情况下能够迅速响应，保障设备安全稳定运行。通过完善的故障诊断和应急处理体系，可以有效降低停机时间和维修成本，提升系统整体运行效率。

结论

通过对大型立式水泵中水导轴承的结构特性、故障表现及成因进行深入分析，可以发现，设计与材料不合理、润滑系统不完善、运行环境恶劣及维护管理缺失是引发故障的主要因素。针对这些问题，采取系统性对策，如优化设计、选用高性能材料、改进润滑冷却方式、建立完整的监测与维护机制，可有效降低故障发生率，提升设备运行的可靠性与经济性。同时，应加强运行数据的收集与故障分析，逐步实现智能监控与预测性维护，为水泵系统的长周期稳定运行提供有力保障。本研究对类似设备中轴承系统的设计改进与运行管理具有一定借鉴意义。

参考文献

- [1] 张保民, 陈丽媛, 谷剑鸣. 大型立式水泵水导轴承故障的分析处理探讨[J]. 农业开发与装备, 2020(8): 105-106.
- [2] 余丰. 蔡家洲水电站水导轴承甩油环故障浅析[J]. 机电信息, 2021(11): 27-28.
- [3] 周顺潮, 周建荣. 大型斜轴伸泵站典型故障分析及水力优化研究[J]. 水利建设与管理, 2024, 44(11): 37-42.
- [4] 王顺超, 陈晓灵. 水轮机水导轴承甩油故障及解决方法[J]. 建筑工程技术与设计, 2021(21): 1829.