

双机封热介质泵密封结构改造与优化探究

徐国辉 吴培尖 李东雷 姜洋洋

中海石油深海开发有限公司 广东 珠海 750001

摘要：本文针对热介质泵在运行过程中面临的密封问题，从单机封与双机封密封结构的对比分析入手，深入探讨了双机封热介质泵密封结构的改造优化方案。通过系统分析密封结构类型特点，提出了具有针对性的改造设计方案，包括密封材料选择和结构优化设计。采用科学的试验方法对改造效果进行验证，并进行了全面的性能评估。优化后的双机封密封结构具有更高的可靠性和使用寿命，显著降低了泄漏风险，提高了设备运行效率。本文对提升热介质泵密封性能具有重要的理论指导意义和实践价值。

关键词：热介质泵；双机封；密封结构优化

引言：热介质泵作为工业生产中的关键设备，其密封性能直接影响着系统的安全性和可靠性^[1]。随着工业技术的发展，对热介质泵密封性能的要求不断提高，传统的单机封结构已难以满足现代工业生产的需求^[2]。本文通过对比分析单机封和双机封结构的特点，提出了双机封热介质泵密封结构的改造优化方案，并通过实验验证了改造效果，为提高热介质泵密封性能提供了新的技术思路。

1 热介质泵密封结构类型对比分析

1.1 单机封热介质泵密封结构

单机封热介质泵密封结构作为传统密封形式具有其特定的工作原理和结构特征。密封结构主要由密封环、弹簧、密封座及辅助密封元件组成，通过静环与动环之间的相对运动形成密封面，实现介质的密封功能。单机封结构的工作环境主要依赖于介质的润滑和冷却作用，密封面的温度控制和润滑状态直接影响密封效果^[3]。在工作过程中，密封环材料的选择需要考虑耐磨性、耐腐蚀性和热稳定性等多个因素，同时还需要综合考虑介质的物理化学特性。单机封结构的密封原理是利用弹簧力和介质压力的共同作用，在密封面之间形成稳定的密封膜，防止介质泄漏。

单机封结构的维护和检修相对简单，但在高温高压工况下，密封可靠性和使用寿命存在一定的局限性。单机封结构的设计需要充分考虑密封面的压力分布和热变形，确保密封面能够保持良好的接触状态。在运行过程中，需要定期检查密封面的磨损状况和密封性能，及时发现和处理可能存在的问题。

1.2 双机封热介质泵密封结构

双机封热介质泵密封结构是在单机封基础上的改进和发展，具有更复杂的结构形式和更优异的密封性能。双机封结构由两组独立的机械密封装置串联组成（如图1

为双端面机械密封结构），中间设有缓冲腔，通过注入密封液形成独立的密封系统。双机封结构的工作原理是利用两道密封面的串联作用，提高密封的可靠性和安全性。内侧密封用于阻隔工作介质，外侧密封用于防止密封液泄漏，两者共同作用形成完整的密封系统。密封液的选择需要考虑其与工作介质的相容性、润滑性能和散热能力等特性。

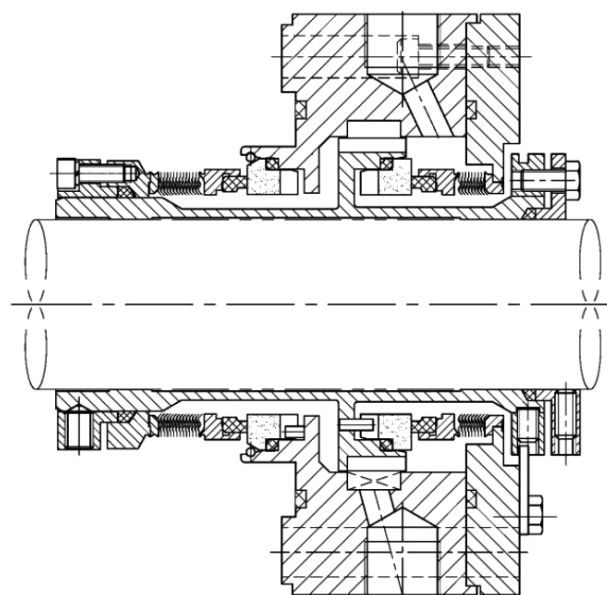


图1 双端面机械密封结构

双机封结构的设计需要考虑压力平衡、温度控制、流道布置等多个方面，确保密封系统的稳定运行。在实际应用中，双机封结构能够有效减少泄漏风险，延长设备使用寿命，特别适用于高温高压、易燃易爆等严苛工况。双机封结构的维护要求相对较高，需要定期检查密封液的压力、温度和流量，确保密封系统的正常运行；还需要关注密封面的磨损状况和密封效果，及时进行必

要的维护和更换。

1.3 单双机封密封结构对比

通过对单机封和双机封密封结构的系统对比分析,可以深入了解两种结构的优势和局限性。从密封原理来看,双机封结构通过两道密封面的串联作用,提供了更可靠的密封效果,而单机封结构仅依靠单道密封面实现密封功能。在密封可靠性方面,双机封结构具有明显的优势,特别是在处理高温高压介质时,能够提供更好的密封效果和更高的安全性。从运行维护角度来看,单机封结构的维护相对简单,成本较低,但在严苛工况下使用寿命较短,需要频繁更换密封件。

双机封结构虽然维护要求较高,但使用寿命更长,能够显著降低设备的停机维修时间。在密封性能的稳定性方面,双机封结构受外部环境影响较小,能够保持较稳定的密封效果,而单机封结构容易受到温度变化、振动等因素的影响。从经济性角度分析,双机封结构的初始投资较高,但从全生命周期成本来看,其较长的使用寿命和较低的维护频率能够带来更好的经济效益。

2 双机封热介质泵密封结构改造设计方案

2.1 改造目标与技术要求

双机封热介质泵密封结构改造的首要任务是明确改造目标和技术要求(见图2)。改造目标应着重考虑密封可靠性提升、使用寿命延长、维护成本降低等关键指标。具体技术要求需要综合考虑工作介质的特性、运行参数、环境条件等多个因素。在密封性能方面,要求改造后的结构能够适应更高的工作压力和温度,同时保持良好的密封效果。对于密封系统的稳定性,需要确保在各种工况下都能保持可靠的运行状态。

双机封热介质泵密封结构改造还需要考虑改造成本的经济性,在保证性能提升的同时,控制改造投入。在设计过程中,要充分考虑现有设备的结构特点和安装条件,确保改造方案的可实施性。改造设计还需要考虑设备的标准化和通用性,便于后续的维护和备件供应。在技术要求的制定过程中,需要参考相关标准规范,确保改造方案符合行业要求。

2.2 密封材料优化选择

在双机封热介质泵密封结构改造中,密封材料的选择直接影响着密封性能和使用寿命。材料选择需要综合考虑耐磨性、耐腐蚀性、热稳定性等多个性能指标(如图2为金属件材料)。对于密封环材料,需要具备良好的硬度和韧性,能够在高温高压环境下保持稳定的机械性能。材料的热膨胀系数需要与配合件相匹配,避免因温度变化导致的密封失效。



图2 金属件材料

在耐腐蚀性方面,材料需要能够抵抗工作介质的化学侵蚀,保持良好的表面质量。对于辅助密封元件的材料选择,需要考虑其弹性特性和耐老化性能,确保长期使用的可靠性。在材料组合方面,需要考虑不同材料之间的摩擦特性和相容性,避免因材料不匹配导致的早期失效。同时,还需要考虑材料的加工性能和成本因素,选择适合批量生产的材料类型。在材料性能评估过程中,需要进行全面的性能测试,包括硬度测试、耐磨测试、腐蚀测试等,确保材料性能满足使用要求。

2.3 密封结构优化设计

密封结构的优化设计是改造方案中的核心环节,需要从多个方面进行系统性改进。需要优化密封面的设计,包括密封面的形状、尺寸和表面质量要求。密封面的接触压力分布需要合理设计,确保在不同工况下都能保持稳定的密封效果。在结构布置方面,需要优化密封组件的安装位置和相互关系,减少安装应力的影响。对于密封腔的设计,需要考虑介质流动和热交换的要求,确保良好的冷却和润滑效果。

在弹性元件的设计方面,需要合理选择弹簧刚度和预压力,保证密封面的接触状态。对于轴向定位和径向导向,需要采用合理的结构形式,减少运动部件的偏差。在密封液循环系统的设计方面,需要优化流道布置和压力控制,确保密封液的有效供应。结构设计还需要考虑防护措施,包括防尘、防水等功能的实现。同时,需要考虑结构的装配性和维修性,设计合理的拆装结构。在密封结构的强度校核方面,需要进行详细的计算分析,确保结构的可靠性。

3 改造效果验证与性能评估

3.1 试验方案与测试方法

验证改造效果需要制定科学合理的试验方案和测试方法。试验方案的制定需要考虑测试项目的完整性和测

试条件的代表性。要确定关键性能参数的测试项目,包括密封性能、温升特性、振动特性等。测试方法的选择需要考虑测试精度和可重复性,确保测试结果的可靠性。对于密封性能的测试,需要设计不同工况条件下的测试方案,包括常温试验和高温试验。在测试设备的选择方面,需要配备满足测试要求的仪器设备,确保测试数据的准确性。测试过程中需要建立完整的数据采集系统,实现测试参数的实时监测和记录。对于测试工况的设置,需要考虑工作介质的特性和运行参数的范围,确保测试条件的合理性。

在测试程序的设计方面,需要考虑测试的顺序和持续时间,确保测试的科学性和有效性。测试方案还需要包含异常情况的处理预案,确保测试过程的安全性。同时,需要建立测试数据的分析方法,包括数据处理和评价标准的制定。试验过程中需要做好测试记录,包括环境条件、操作过程和异常现象的记录。

3.2 改造效果分析

对改造效果的分析需要从多个角度进行系统评估。要对测试数据进行全面统计分析,包括各项性能参数的变化趋势和分布特征。通过对比改造前后的性能数据,评估改造方案的有效性。在密封性能方面,需要分析密封泄漏率的变化情况,评估密封效果的改善程度。对于温升特性的分析,需要考察不同工况下的温度分布和变化规律。振动特性的分析需要关注设备运行的稳定性和可靠性。在使用寿命方面,需要通过加速寿命试验和长期运行数据进行评估。对于维护性能的分析,需要考察维护工作的便利性和维护成本的变化。

通过经济性分析,评估改造投入的回收期和经济效益。在可靠性分析方面,需要考察设备的故障率和维修频率的变化情况。同时,需要对改造过程中发现的问题进行总结分析,为后续改进提供依据。改造效果的评估还需要考虑使用环境的影响,确保在不同条件下都能保持良好的性能。

3.3 优化建议与发展展望

在双机封热介质泵密封结构的未来发展中,需要从设计理念、材料应用和制造工艺等多个维度进行深入探索和创新。在设计理念方面,应当充分融合流体力学、

材料科学和摩擦学等多学科理论,构建更加完善的密封结构设计理论体系。密封结构的设计应当更加注重系统性和整体性,通过优化结构参数和改进密封原理,提高密封效果的可靠性和稳定性。同时要加强密封结构的模块化和标准化设计,提高产品的通用性和互换性。在材料应用方面,需要加强新型密封材料的探究和开发,重点关注具有自润滑性能和高温稳定性的复合材料。制造工艺方面需要引入先进的加工技术和表面处理方法,提高密封面的加工精度和表面质量。

在发展展望方面,双机封热介质泵密封技术的发展趋势将朝着高效能、智能化和绿色环保的方向发展。未来的密封结构设计将更加注重能源效率和环境友好性,通过结构优化和材料创新降低能源消耗和环境影响。智能化技术的深入应用将实现密封系统的远程监控和预测性维护,提高设备运行的可靠性和经济性。在材料技术方面,新型纳米材料和智能材料的应用将为密封结构带来革新性的突破,实现密封性能的质的提升。设计方法将更加注重仿生学原理的应用,通过模拟自然界中的密封机理开发新型密封结构。

结论:双机封密封结构相比单机封具有明显的性能优势,在密封可靠性、使用寿命和安全性等方面表现更为优异。通过优化密封材料选择和结构设计,能够显著提升密封系统的整体性能。在结构设计方面,通过优化密封面形状、改进密封腔结构等措施,可以有效提高密封效果的稳定性。改造后的双机封结构在各项性能指标上均有显著提升,特别是在高温高压工况下表现出更好的适应性和可靠性。这些成果对提高热介质泵的运行效率 and 安全性具有重要的理论指导意义和实践价值,为后续的技术创新和产品开发提供了重要参考。

参考文献

- [1]于贤龙,贾振超,慈文亮,等.闭式热泵干燥介质温湿度演化及对能耗的影响[J].食品与机械,2023,39(2):94-98,181.
- [2]卜学兵,郑旭,韩飞,等.涡轮氧泵动静间隙低温介质热力学特性研究[J].工程热物理学报,2023,44(9):2399-2408.
- [3]那威,夏秋阳.不同多孔介质及地下水热泵运行方式对采能区热贯通的影响[J].暖通空调,2021,51(7):104-110.