

干气密封入轴深度非接触式测量装置开发

张 昆

内蒙古鄂尔多斯联合化工有限公司 内蒙古鄂尔多斯 016064

摘要:针对能源设备如离心压缩机中干气密封技术的关键参数—密封入轴深度的准确测量问题,本研究开发了一种非接触式测量装置。该装置基于激光位移传感技术,通过设计一套自动对准且能够适应密封腔环境的测量系统,实现对干气密封入轴深度的快速、准确测量。研究过程中,首先分析了干气密封的工作原理及入轴深度对密封性能的影响,然后详述了测量装置的设计方案,包括激光传感器的选择、测量架构的构建以及数据采集与处理程序的开发。实验结果表明,该测量装置在高速旋转和高温环境下依然能够保持良好的性能稳定性和测量精度,在线实时测量的重复精度达到 $\pm 2\mu\text{m}$ 以内,满足工业应用的要求。为干气密封的健康监测与故障诊断提供了一种高效的技术支持,具有重要的工程应用价值。

关键词:非接触式测量装置;干气密封;入轴深度;激光位移传感技术;精度稳定性

引言

本研究旨在开发一种非接触式的干气密封入轴深度测量装置,解决离心压缩机中传统测量方法面临的挑战,如低测量精度、设备磨损和停机时间问题。研究利用激光位移传感技术,设计了一套能够自动对准并适应恶劣环境的测量系统。对干气密封的工作原理深入分析,探讨了入轴深度对密封性能的影响,并基于此设计测量架构及开发数据处理程序,增强测量的准确性与可靠性。实验验证表明,该装置可实现在极端工况下的高精度测量和在线监控。这一成果对干气密封的健康监测与诊断具有重大意义,为我国能源设备维护与安全运行提供创新技术支持。

1. 概述与背景

1.1 干气密封的工业重要性

干气密封技术在工业应用中具有重要意义,特别是在石油、天然气、化工等能源设备的离心压缩机使用中^[1]。作为一种关键的密封技术,干气密封不仅提高了设备运行的安全性,还有效降低了运行过程中的能量损耗和环境污染。由于其优良的密封性能和较长的使用寿命,干气密封被广泛应用于需要高效密封的严苛工业环境下。在工业实践中,良好的干气密封性能直接关系到设备的可靠性和运营效率。干气密封能够在高速旋转的条件下维持较低的泄漏率,确保生产流程的安全稳定,减少维护成本。在复杂工况下,干气密封通过减少机械磨损和避免介质泄漏,对延长设备寿命和提升生产效益起到了至关重要的作用。对干气密封技术进行深入

研究与技术优化是工业界亟需解决的重要课题之一。

1.2 入轴深度对密封性能的影响

入轴深度是影响干气密封性能的关键参数之一。其对密封性能的影响主要体现在密封效能和使用寿命两个方面。深度偏差可能导致密封面间隙的不均匀分布,从而引发泄漏与摩擦耗损的增加。过深或过浅的入轴深度可能导致密封元件承载能力不足或过度磨损,影响整个系统的稳定性与有效运行。密封气流的动态行为与密封腔压力状态也与入轴深度紧密相关^[2]。确保精确入轴深度对于维持密封装置的高可靠性至关重要,合理的深度控制能够优化密封性能,提升设备效率并延长使用寿命。对入轴深度的准确测量和控制是工业应用中的重要技术需求。

1.3 当前测量技术的挑战与发展需求

当前干气密封入轴深度的测量技术面临多重挑战,包括高温、高速旋转环境中准确测量的难度,以及现有接触式测量容易引发设备磨损等问题。传统方法在动态测量中表现不佳,影响密封性能评估的准确性,无法充分支持在线实时监测。测量设备的适应性不足,使其难以应用于各种复杂的工业环境。发展需求包括提高测量精度和设备的环境耐受性,实现实时在线监测,为设备健康状态的持续评估提供可靠数据支持。这将推动密封技术的优化和预防性维护策略的制定。

2. 测量装置的理论基础

2.1 激光位移传感技术概述

激光位移传感技术基于激光束反射原理,通过测量传

传感器与目标物体之间的距离变化，实现对物体位置的高精度检测。此技术在精密测量中具有显著的优势，能够提供非接触、快速响应的位移数据，避免了传统接触式测量可能引发的机械磨损和测量误差。在激光位移传感应用中，通常采用激光二极管发射光束，该光束经过光路系统的调制后射向目标表面，再由接收系统收集反射光并分析其位移变化。不同距离的物体会引发光程差异，这些差异被高精度传感器转换为电信号，进行数据处理后得到被测物体的具体位置数据。由于激光具有高方向性和亮度，且不受电磁干扰，在复杂工业环境中可实现稳定而精确的测量，成为测量干气密封入轴深度的理想技术支撑。

2.2 非接触式测量原理

非接触式测量原理的核心在于无需直接接触即可获取被测物体的几何参数。使用光学传感技术，尤其是激光位移传感器，可以实现这一目标。激光位移传感器通过发射激光束照射待测表面，接收表面反射的激光光束，并计算光程的变化。基于这一变化，可以采用三角测量法或相位偏移法来精确测量物体与传感器之间的距离。该过程避免了机械接触导致的磨损和误差，特别适用于高温、高速旋转的密封设备环境。通过实时数据处理，测量结果可以达到高精度和高重复性，为设备健康状态的及时监控提供了有效支持。此非接触式方法能够有效克服传统接触测量的局限性，提升测量装置的使用寿命和数据可靠性。

2.3 测量装置对密封性能的理论影响

测量装置对密封性能的理论影响主要体现在其对干气密封入轴深度的精确测量，进而实现对密封性能的精准控制。入轴深度是影响密封效能的重要参数，直接关系到设备的运行安全性和能效。非接触式激光测量技术能够在不影响密封件物理状态的情况下，快速获得入轴深度数据^[3]。通过高精度的数据采集与处理，该装置能够及时识别出因入轴深度偏差造成的密封失效风险，从而在设计与应用中提供理论支持，以增强密封系统的可靠性和性能稳定性。

3. 测量装置的开发

3.1 装置设计方案概述

装置设计方案概述包括对整体结构的系统化布局，以实现对干气密封入轴深度的高效测量。采用激光位移传感技术作为核心，装置设计兼具自动对准和环境适应性。激光传感器安装于精密可调节支架，用于在高速旋转和复杂工况下

保证测量准确性。系统集成高效数据采集模块，通过嵌入式软件优化数据处理和误差校正能力。装置具备自校准功能，确保在各种工作环境中的测量稳定性。设计过程中重视抗干扰设计和结构耐用性，以适应高温高压的密封腔使用环境。装置整体结构紧凑，适合狭小安装空间，并且保留了现场维护的便利性。通过模块化设计，装置可以针对不同场景灵活调整，以提升适用范围和可靠性。装置设计还考虑了工业现场应用需求，通过对接多种通讯协议，实现与现有监测系统的无缝集成。

3.2 激光传感器的选择与配置

在测量装置的设计中，激光传感器的选择对测量精度、系统稳定性以及适应性具有关键作用。选用基于三角反射法的高精度激光位移传感器，其具备高分辨率、快速响应和抗环境干扰能力，能够适应密封腔内复杂的工作条件。针对干气密封的入轴深度测量需求，传感器的测量范围和线性精度被精确匹配，以确保在动态变化环境下实现高精度测量。传感器的配置方案注重测量系统的集成性，由一套灵活调整的支架系统进行固定，实现对密封腔内不同测量位置的自动对准。通过配备抗振装置以及热隔离设计，确保激光传感器在高速旋转和高温环境下的长期稳定运行^[4]。整个配置方案经过优化，有助于提高测量装置的整体性能^[5]。

3.3 测量系统的自动对准与适应性

测量系统的自动对准与适应性设计是本装置的一大创新。通过精确调整激光传感器的坐标位置，使其与测量对象保持最佳对焦状态。采用智能算法，实现系统对不同密封腔的自动识别与调整，以应对各种尺寸和材质的变化。集成环境感知模块，有效抵御高温、高速旋转等不利条件影响，提高系统的工作稳定性。优化运动机制，以减少误差累积，确保在复杂工业环境下的持续高效运行。

4. 测量装置性能的验证与测试

4.1 测试环境与条件设定

测试环境与条件设定对验证测量装置性能至关重要。需模拟离心压缩机真实工况，包括高速旋转和高温环境，以检验装置稳定性。旋转速度设为最大运行值，高温通过加热设备模拟，覆盖工业常见温度。使用精密校准工件验证测量精度和稳定性。多种环境下测试确保装置适应复杂工况，数据采集严格按规定参数执行，确保结果准确可靠。这些测试对装置性能验证意义重大，为工业应用提供数据支持。

4.2 性能稳定性分析

在对测量装置性能稳定性进行分析时，测试是在模拟离心压缩机运行条件下进行的。装置在高温高压环境下保持稳定，说明其适应严苛操作条件的能力。通过高速旋转条件测试，确认装置在不同转速下的数据波动情况，数据在长时间运行中依然趋于稳定，无明显偏差，表明装置具有较高的抗干扰能力和稳定的信号输出。高温测试结果显示，传感器和系统结构可有效避免温度变化引发的测量误差，确保在高温条件下仍能获得一致的测量结果。整体分析显示，该测量装置在严苛工业环境中展现出优异的性能稳定性，满足工业应用的要求。

4.3 精度与重复性验证

在进行精度与重复性验证时，测量装置在多次测量中展示出高精度和高重复性的性能。实验数据表明，测量装置的在线实时测量重复精度维持在 $\pm 2 \mu\text{m}$ 以内，符合工业应用对高精度的要求。测试环境包括模拟的高速旋转和高温条件，以确保测量装置在极端工况下保持稳定功能。验证过程中，测量系统的自动对准能力在不同操作条件下表现出色，进一步确认了开发装置在重复性测量任务中的可靠性和一致性。此结果表明该装置可有效应用于复杂的工业环境。

5. 应用前景与结论

5.1 工业应用潜力

干气密封入轴深度非接触式测量装置在工业中潜力巨大，能快速提升干气密封系统健康监测效率。该装置在高速旋转和高温条件下表现稳定且精度高，广泛应用于多领域密封性能优化和故障预防。尤其在石油、天然气和化工行业，对设备安全和效能至关重要，可有效监测密封状态，延长使用寿命。高精度测量有助于及时识别密封失效等异常，降低维护成本，减少停机时间，增强生产连续性。在工业 4.0 环境下，其数据采集与处理功能为智能制造提供高质量数据支持。因此，该装置在未来工业应用中，特别是高可靠性和低维护环境下，具有重要工程价值与发展前景。

5.2 健康监测与故障诊断贡献

干气密封入轴深度在能源设备中起着至关重要的作用，其准确测量对于密封的健康监测与故障诊断有重要的意义。开发的非接触式测量装置能够实时、高精度地监测密封入轴

深度的变化，这为设备的健康监测提供了及时可靠的数据支持。通过对密封入轴深度的动态监测，可以及早发现密封性能的潜在异常，预防严重故障的发生。该装置的应用不仅能延长设备使用寿命，还可减少意外停机带来的经济损失，为工业设备的运维管理提供了一种创新且高效的解决方案。

5.3 结论与未来工作方向

开发的非接触式测量装置，通过激光位移传感技术，实现了对干气密封入轴深度的精准测量，在高速旋转与高温环境下表现出卓越的稳定性和精度，达到了工业应用的要求。这为干气密封的健康监测与故障诊断提供了强有力的技术支持。未来的研究可在此基础上，进一步优化装置的体积和成本，以适应更广泛的工业应用。探索与其他监测系统的集成，以增强整体密封系统的故障预测与诊断能力。

结语

本研究针对离心压缩机等能源设备的干气密封技术中密封入轴深度测量问题，开发了基于激光位移传感的非接触测量装置。通过深入分析干气密封原理与详尽设计，构建了自动对准、适应高温高速环境的测量系统，实现高精度在线实时测量，优化了干气密封性能。研究表明，该装置在极端环境下性能稳定，重复精度达 $\pm 2 \mu\text{m}$ ，满足工业要求。未来需探索更极端环境下的稳定性与抗干扰能力，特别是电磁干扰。集成测量装置与健康监测系统，将提升设备可靠性。本研究为干气密封技术发展提供了理论与实验依据，奠定了后续研究与实践基础。

参考文献：

- [1] 赵帅, 杨洋. 离心压缩机干气密封技术 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2021, (04): 0024-0025.
- [2] 杨文韬, 庄建军, 张雨辰, 梅永, 王沁. 非接触式液体物理参数自动测量装置 [J]. 电子测量技术, 2021, 44(14): 98-102.
- [3] 翟霄, 杨小成, 陈金林, 丁雪兴. 干气密封摩擦界面弹塑性接触刚度模型 [J]. 振动与冲击, 2023, 42(10): 165-171.
- [4] 陈勇. 某装置干气密封主密封气线失效原因分析 [J]. 中国设备工程, 2021, (S2): 75-77.
- [5] 杨小成, 丁雪兴, 陈金林. 考虑弹塑性变形阶段的干气密封接触模型 [J]. 摩擦学学报, 2022, 42(06): 1237-1245.