

# Application of Mechanical Sealing Technology in High Pressure Vessel and Its Influence on Heat Exchanger Performance

Qiang Hu Hualong Zhang Jianpeng Luo

State Nuclear Demonstration Power Station Co., Ltd., Weihai, Shandong, 264312, China

## Abstract

This paper studies the application of mechanical sealing technology in high pressure vessel and its influence on the performance of heat exchanger. Mechanical sealing technology is widely used in the field of high pressure vessel because of its good sealing performance and adaptability. This paper introduces several main types of mechanical sealing, including rotation or stationary, leakage direction of sealing medium. The key technical challenges and application examples of mechanical sealing in high pressure vessels are also analyzed. Then, the influence of mechanical seal on the performance of the heat exchanger was discussed, including improving thermal efficiency, extending service life and enhancing safety and reliability. The research provides a valuable reference for the design and optimization of high pressure vessel and heat exchanger.

## Keywords

mechanical sealing technology; high pressure vessel; heat exchanger performance; thermal efficiency

# 机械密封技术在高压容器中的应用研究及其对换热器性能的影响

胡强 张华龙 罗建鹏

国核示范电站有限责任公司, 中国·山东 威海 264312

## 摘要

论文研究了机械密封技术在高压容器中的应用及其对换热器性能的影响。机械密封技术因其良好的密封性能和适应性, 在高压容器领域得到广泛应用。论文介绍了机械密封的几种主要类型, 包括按弹簧元件旋转或静止分类、密封介质泄漏方向分类等。同时分析了机械密封在高压容器中的关键技术挑战及应用实例。随后也探讨了机械密封对换热器性能的影响, 包括提升热效率、延长使用寿命及增强安全性和可靠性, 为高压容器及换热器的设计与优化提供了有价值的参考。

## 关键词

机械密封技术; 高压容器; 换热器性能; 热效率

## 1 引言

随着工业技术的不断发展, 高压容器在化工、石油、医药等领域的应用日益广泛。在这些高压、高温及腐蚀性介质环境下, 机械密封技术成为确保容器密封性能、防止介质泄漏的关键。论文旨在探讨机械密封技术在高压容器中的应用现状及其对换热器性能的影响。

## 2 机械密封的种类

### 2.1 按弹簧元件旋转或静止分类

旋转式机械密封, 使其弹簧元件随轴一同旋转。这种设计特别适用于高速旋转的工况环境, 如高速离心泵、透平压缩机等。在高速旋转条件下, 旋转式机械密封能够更有效

地维持密封面的贴合度, 减少因离心力作用而产生的泄漏风险。其弹簧元件的旋转不仅有助于均匀分布密封面上的压力, 还能在一定程度上补偿因轴向窜动或热变形引起的密封间隙变化, 从而确保密封效果的稳定性和可靠性。此外, 旋转式机械密封的结构设计往往更加紧凑, 能够适应更为紧凑的设备布局需求。然而, 由于弹簧元件随轴旋转, 其磨损速度可能相对较快, 对材料的选择和润滑条件的要求也更为严格。相比之下, 静止式机械密封的弹簧元件则保持静止不动, 仅通过其他传动机构(如推环、波纹管等)将弹簧力传递给动环, 实现密封功能。这种设计特别适用于低速或静止的密封需求, 如某些低速泵、搅拌器或需要频繁启停的设备。静止式机械密封的优势在于其弹簧元件不受旋转影响, 磨损较小, 使用寿命相对较长<sup>[1]</sup>。

### 2.2 按密封介质泄漏方向分类

内流式机械密封是指密封介质从密封装置的内侧(即

【作者简介】胡强(1997-), 男, 蒙古族, 中国河南邓州人, 本科, 工程师, 从事换热器、压力容器、机械维修研究。

设备内部)流向外侧(即设备外部环境)。在这种设计下,密封面通常位于介质流动的上游,因此密封介质在通过密封面时会对密封件产生一定的冲刷作用。这种冲刷作用虽然在一定程度上能够带走密封面上的热量和杂质,有助于保持密封面的清洁和散热,但同时也可能加剧密封件的磨损,特别是在介质含有固体颗粒或腐蚀性成分时。此外,内流式机械密封在应对高压、高温或高粘度介质时,可能需要采取额外的措施来确保密封效果,因为介质直接作用于密封面,对密封结构的强度和稳定性提出了更高要求。而外流式机械密封的设计则让介质从密封装置的外侧流向内侧。这种设计在减少泄漏风险方面具有显著优势。由于介质首先流经密封装置的外部空间,再进入设备内部,因此即使密封面存在微小泄漏,泄漏的介质也会被引导至设备外部,从而避免了介质直接泄漏到工作环境中可能造成的污染和安全隐患。外流式机械密封的这一特点使得其在处理有毒、有害、易燃易爆或对环境敏感的介质时尤为适用<sup>[2]</sup>。

### 2.3 按密封端面的对数分类

单端面机械密封是仅具有一对密封端面,即动环与静环之间的接触面。这种密封结构相对简单,制造成本较低,且安装和维护相对便捷,因此广泛应用于一般工况下的密封需求。单端面机械密封通过弹簧或波纹管等弹性元件的作用,使动环与静环紧密贴合,形成有效的密封屏障,防止介质泄漏。然而,由于其仅依靠单一密封面进行密封,因此在面对高压、高温或有毒有害介质时,其密封效果可能受到一定影响,需要采取额外的措施来确保密封的可靠性和安全性。双端面机械密封则是一种更为复杂且安全性更高的密封形式。它拥有两对密封端面,即主密封面和副密封面(也称为阻挡密封面)。主密封面直接承担阻止介质泄漏的主要任务,而副密封面则位于主密封面的外侧,形成一道额外的屏障,用于防止介质通过主密封面泄漏后进一步扩散到环境中。这种双重保护机制使得双端面机械密封在高压、高温或处理有毒有害介质时表现出色,能够显著降低泄漏风险,提高系统的安全性和可靠性。然而,双端面机械密封的结构相对复杂,制造成本和维护难度也相对较高,同时还需要考虑副密封面的冷却和润滑问题,以确保其长期稳定运行<sup>[3]</sup>。

## 3 机械密封技术在高压容器中的应用

### 3.1 应对高压环境

其实在面对极端的高压环境时,其性能的稳定性和可靠性直接关系到容器的安全运行。高压容器内部的高压环境对机械密封构成了严峻的挑战,要求密封系统必须能够承受巨大的压力差而不发生泄漏,同时保持长时间的稳定工作状态。为了应对高压环境,机械密封技术在材料选择、结构设计以及制造工艺上进行了诸多优化与创新。一方面,采用高强度、高耐压的合金材料作为密封件的主要材质,这些材料不仅具有优异的机械性能,还能在高温、高压及腐蚀性介质中保持稳定的化学性质,从而确保密封件在恶劣工况下的长

期耐用性。另一方面,密封结构的优化设计也是提升高压容器密封性能的关键。通过精细计算和分析,设计出合理的密封面形状、尺寸以及密封元件的布置方式,以最大限度地减少泄漏通道,提高密封效果。同时,采用多级密封、平衡型密封等先进结构,有效降低密封面的比压,延长密封件的使用寿命<sup>[4]</sup>。

### 3.2 解决高温问题

在高压容器的应用中,机械密封技术扮演着至关重要的角色,在高压容器的工作环境中,高温不仅加剧了材料的老化和变形风险,还直接影响了机械密封的稳定性和可靠性<sup>[5]</sup>。因此,在将机械密封技术应用于高压容器时,解决高温问题成为了不可或缺的一环。为了应对高温挑战,机械密封的选材至关重要。必须选用耐高温、抗热变形的特种材料,如陶瓷、硬质合金以及高温合金等。这些材料在高温下仍能保持优异的机械性能和化学稳定性,有效抵抗热应力和热腐蚀的影响,确保密封件在高温环境中不发生形变或失效。除了材料的选择外,设计合理的冷却系统也是解决高温问题的关键。冷却系统的作用是通过循环冷却介质(如水、油等)来带走密封件及周围环境的热量,降低密封面的温度,从而减缓材料的老化速度,提高密封性能。冷却系统的设计需充分考虑高压容器的结构和工作环境,确保冷却介质能够均匀、有效地覆盖整个密封区域,同时避免对容器内部介质造成污染或干扰。

### 3.3 应对腐蚀性介质

在高压容器应对腐蚀性介质的挑战中,机械密封技术展现出了其独特的优势与解决方案。面对强腐蚀性的介质环境,机械密封的首要任务是确保密封元件的耐久性与稳定性。为此,材料的选择成为了至关重要的一环。不锈钢,以其卓越的抗腐蚀性能和良好的机械强度,成为众多腐蚀性工况下的首选材料。而陶瓷材料,则以其极高的硬度和化学稳定性,在极端腐蚀性介质中也能保持出色的密封效果,进一步拓宽了机械密封的应用范围。除了材料的选择,密封面的设计同样不容忽视。为了最大限度地减少腐蚀性介质对密封件的侵蚀,密封面的设计需经过精心优化。通过采用合理的几何形状、控制密封面的粗糙度以及优化密封面的接触应力分布,可以有效降低介质对密封面的直接冲刷和侵蚀作用<sup>[6]</sup>。同时,考虑到介质的流动特性,设计合理的密封面流道,确保介质能够顺畅通过,减少在密封面附近的滞留和积聚,从而降低腐蚀风险。此外,为了确保机械密封在腐蚀性介质中的长期稳定运行,还需关注密封系统的整体设计与维护。这包括合理的密封件布置、冷却系统的配置以及定期的维护检查等。通过综合考虑这些因素,可以构建出一个高效、可靠的机械密封系统,为高压容器的安全运行提供有力保障。

## 4 机械密封对换热器性能的影响

### 4.1 提升热效率

机械密封在换热器中的应用,其卓越性能直接关系到

换热器的整体性能,尤其是热效率的提升。一个设计精良、运行稳定的机械密封系统,能够有效防止工作介质的泄漏,这是提升换热器热效率的关键所在。当介质在换热器内部流动并完成热量交换时,任何形式的泄漏都将导致热量损失,进而降低热效率,增加能源消耗。具体而言,机械密封通过其高精度的密封面配合和可靠的密封机制,确保了换热器内部介质流动的封闭性和连续性。这种无泄漏的工作环境,使得热量能够充分、高效地在冷热介质之间进行传递,减少了因泄漏而导致的热量散失<sup>[7]</sup>。同时,机械密封还通过减少介质与外界环境的接触,降低了因介质蒸发、冷凝等过程造成的能量损失,进一步提升了换热器的热效率。此外,机械密封的优异性能还体现在其对换热器运行稳定性的贡献上。稳定的密封状态有助于维持换热器内部介质流动的均匀性和稳定性,避免了因介质流动不畅或波动而导致的热量传递效率下降。这种稳定性不仅提升了

#### 4.2 延长使用寿命

机械密封在换热器中的应用,其深远影响不仅体现在提升热效率上,更在于对换热器整体使用寿命的显著延长。这主要得益于高品质密封材料的选用以及先进密封技术的运用<sup>[8]</sup>。高品质的密封材料,如不锈钢、陶瓷等,以其卓越的耐磨性、耐腐蚀性和高温稳定性,为机械密封件提供了坚实的物质基础。这些材料能够有效抵御介质中的腐蚀性成分、固体颗粒以及高温高压环境的侵蚀,减少密封面的磨损和腐蚀,从而保持密封性能的长期稳定。这种长期稳定的密封状态,为换热器的持续高效运行提供了有力保障,避免了因密封失效而导致的介质泄漏、热量损失和设备损坏等问题。同时,先进的密封技术也是延长换热器使用寿命的关键因素。通过优化密封面设计、采用多级密封结构、引入自动补偿机制等先进技术,机械密封能够在复杂多变的工况下保持稳定的密封效果。这些技术不仅提高了密封的可靠性和耐久性,还降低了密封件在运行过程中的磨损和消耗,进一步延长了换热器的使用寿命<sup>[9]</sup>。

#### 4.3 增强安全性和可靠性

机械密封在换热器系统中的关键作用,不仅体现在技术性能的优化上,更深刻地影响着设备的安全性和可靠性。一个设计合理、运行稳定的机械密封系统,是确保换热器安全、高效运行的重要基石。在安全性方面,机械密封通过其

卓越的密封性能,有效防止了工作介质的泄漏。这种无泄漏的运行状态,从根本上消除了介质外泄可能带来的环境污染和人员伤害风险。特别是在处理有毒、有害或易燃易爆介质时,机械密封的可靠性更是显得尤为重要。它确保了介质在换热器内部安全、有序地流动和换热,避免了因泄漏而引发的安全事故,保障了生产现场的安全环境<sup>[10]</sup>。同时,机械密封的稳定性也极大地提升了换热器的可靠性。在工业生产中,设备的连续性和稳定性是保障生产效率的关键因素。机械密封通过减少因密封问题导致的停机故障和维修时间,确保了换热器能够长时间、稳定地运行。这不仅提高了生产的连续性,还降低了因停机造成的经济损失和生产延误。

## 5 结论

机械密封技术在高压容器中的应用对于保障容器安全、提升换热器性能具有重要意义。通过选用合适的密封类型、优化密封设计并应对高压、高温及腐蚀性介质等挑战,可确保机械密封在高压容器中的稳定可靠运行。未来,随着技术的不断进步,机械密封技术将在更多领域发挥重要作用。

### 参考文献

- [1] 郭晋. 液压及密封技术在石油机械中的应用探究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(13): 193-195.
- [2] 武彩足. 机械密封结构解析[J]. 中国设备工程, 2024(S2): 130-132.
- [3] 张丽铎. 化工设备机械密封技术的改进与应用[J]. 冶金与材料, 2024, 44(4): 112-114.
- [4] 周懿, 丁小浪, 翟嘉勇, 等. 主给水泵机械密封技术改进分析[J]. 水泵技术, 2024(1): 48-52.
- [5] 王振雷. 水泵的机械密封技术在供水厂的应用探讨[J]. 中国设备工程, 2023(18): 218-220.
- [6] 阿卜杜艾尼·图尔贡. 液压及密封技术在石油机械中的实践[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(8): 152-154.
- [7] 陈真. 浅谈液压及密封技术在石油机械中的应用[J]. 装备制造技术, 2023(4): 221-223.
- [8] 陈创希. 水泵机械密封技术在供水厂设备维修中的应用[J]. 设备管理与维修, 2022(20): 155-156.
- [9] 杨智. 水泵维修中机械密封技术研究[J]. 科技资讯, 2022, 20(17): 61-63.
- [10] 秦仙, 马续创. 机械密封技术的发展历程及其展望[J]. 重型机械, 2022(2): 6-12.