

机械密封技术在煤化工企业生产中的应用

董文卓

国能新疆煤制气有限公司 新疆 昌吉 831100

摘要：随着煤化工产业规模持续扩张升级，在煤化工企业生产里，设备稳定运行是保障高效生产的关键。本文聚焦机械密封技术在煤化工企业生产中的应用。首先阐述机械密封技术的工作原理与特点，包括密封性能佳、寿命长、适用范围广等优势。接着详细探讨其在煤气化、煤液化、煤焦化工艺以及煤化工关键设备中的具体应用，如气化炉、煤液化反应器、泵类设备等的密封。最后分析该技术在煤化工领域的发展趋势，涵盖智能化、新材料应用、非接触式密封技术发展以及绿色环保方向，旨在为煤化工企业机械密封技术的研究与应用提供参考。

关键词：机械密封技术；煤化工；企业生产；应用

引言：煤化工企业作为能源化工领域的重要组成部分，其生产过程涉及众多复杂工艺与关键设备，对密封技术要求极高。机械密封技术凭借自身独特优势，在保障煤化工生产安全、稳定、高效运行方面发挥着关键作用。随着煤化工行业不断发展，生产规模扩大、工艺条件愈发严苛，对机械密封技术也提出了更高要求。深入探究机械密封技术在煤化工企业生产中的应用情况与发展趋势，有助于提升企业生产效率、降低运营成本、减少环境污染，推动煤化工行业可持续发展。

1 机械密封技术概述

1.1 机械密封的工作原理

机械密封是一种依靠弹性元件对动、静环端面密封副的预紧和介质压力的压紧，使两个光滑而平直的端面紧密贴合，并相对滑动，从而阻止介质泄漏的轴封装置。工作时，动环随轴旋转，静环固定不动，在弹性元件和介质压力作用下，动、静环端面保持紧密接触，形成一层极薄的液膜。这层液膜既起到润滑作用，减少端面磨损，又能阻止介质大量泄漏。当介质压力变化或轴出现微小跳动时，弹性元件能自动补偿，始终维持端面间良好的贴合，确保密封效果稳定可靠。

1.2 机械密封的特点

1.2.1 密封性能好

机械密封凭借精密的设计与制造工艺，能实现高效的密封效果。其动、静环端面经高精度加工，表面粗糙度极低，贴合紧密，可有效阻止介质泄漏。相比填料密封等传统方式，机械密封的泄漏量极小，能满足煤化工企业对严苛工况下密封的高要求。在煤气化、煤液化等工艺中，可防止有毒有害气体和液体泄漏，保障生产环境安全，避免资源浪费和环境污染，为煤化工生产的稳定运行提供可靠保障。

1.2.2 使用寿命长

机械密封的使用寿命远超许多传统密封形式。其动、静环多采用耐磨、耐腐蚀的优质材料，如硬质合金、碳石墨等，能承受煤化工生产中高温、高压、强腐蚀等恶劣工况。同时，端面间形成的液膜起到良好的润滑作用，减少了端面磨损。在正常维护条件下，可长时间连续工作，减少了设备停机维修次数，降低了企业的生产成本和设备管理难度，提高了生产效率。

1.2.3 适用范围广

机械密封具有广泛的适用性，能满足煤化工企业多样化的生产需求。无论是处理气体、液体还是气液混合介质，无论介质温度是低温还是高温，压力是低压还是高压，机械密封都能发挥良好的密封作用。在煤气化工艺的气化炉、合成气压缩机，煤液化工艺的反应器、加氢压缩机，以及煤焦化工艺的炼焦炉、焦化气压缩机等关键设备中，机械密封都能根据不同工况进行针对性设计和选型，确保设备安全稳定运行，是煤化工行业不可或缺的密封技术。

1.2.4 功率消耗小

机械密封在运行过程中功率消耗较低。由于其动、静环端面间形成的液膜具有良好的润滑性能，大大减少了端面间的摩擦阻力，使得轴在旋转时所需克服的摩擦力矩较小。与填料密封等依靠填料与轴的摩擦来达到密封目的的方式相比，机械密封可显著降低设备的功率损耗，提高能源利用效率。

1.2.5 安装与维护相对方便

机械密封的安装与维护相对简便。其结构标准化、模块化程度较高，安装时只需按照规定的步骤和要求，将各个部件准确组装即可，对安装人员的技术要求相对较低。在日常维护中，只需定期检查密封的运行状态，

如泄漏情况、端面磨损程度等，并根据实际情况进行适当的调整或更换易损件^[1]。

2 机械密封技术在煤化工企业生产中的应用

2.1 在煤气化工艺中的应用

2.1.1 气化炉密封

在煤气化工艺中，气化炉作为核心设备，其密封性能直接影响生产安全与效率。机械密封技术通过动、静环端面的精密贴合，有效阻止气化炉内高温高压介质（如合成气、灰渣）的泄漏。例如，碎煤加压气化炉的灰锁上下阀采用第三代集装式机械密封，可承受约6MPa的高压和500°C的高温，其冷却系统能将内部温度降至100°C左右，避免高温导致密封件失效。该技术还具备自补偿功能，当轴发生微小窜动或振动时，弹性元件可自动调整端面间隙，维持密封稳定性。实际应用中，机械密封的泄漏量远低于填料密封，显著减少了有毒有害气体的排放，同时降低了设备维护频率，单台气化炉的年维护成本可降低30%以上，为煤气化工艺的连续稳定运行提供了可靠保障。

2.1.2 合成气压缩机密封

合成气压缩机是煤气化工艺中输送高压合成气的关键设备，其密封性能直接影响工艺安全与能源效率。机械密封技术通过动环与静环的相对旋转，在端面间形成一层极薄的气膜或液膜，实现非接触式密封，从而大幅降低摩擦损耗。例如，在透平式合成气压缩机中，干气密封技术通过螺旋槽动压效应产生稳定气膜，使密封间隙保持在3μm左右，既防止了合成气泄漏，又避免了机械摩擦导致的磨损。对于含固体颗粒或腐蚀性介质的工况，可采用带中间迷宫的串联式气膜密封，在两级密封间增设迷宫结构，进一步阻隔杂质进入密封端面，延长使用寿命至3年以上。此外，机械密封的功率消耗仅为填料密封的1/5，可显著降低压缩机能耗，提高整体工艺的经济性。

2.2 在煤液化工艺中的应用

2.2.1 煤液化反应器密封

煤液化反应器是煤直接液化工艺的核心设备，其内部进行高温高压的加氢反应，操作条件极为苛刻（温度450-470°C，压力17-20MPa），对密封技术要求极高。机械密封在此发挥关键作用，通常采用双端面机械密封结构，在两个密封端面间引入阻封液，形成一道液屏障，有效隔离煤液化油与外界环境，防止有害气体泄漏。同时，密封材质选用耐高温、耐腐蚀、抗磨损的特殊合金材料，如哈氏合金，以适应煤液化油中含有的硫化物、氯化物等腐蚀性介质。通过精确的加工和装配工艺，保

证密封端面的平面度和粗糙度，使密封性能稳定可靠。机械密封的应用，大大减少了反应器的泄漏量，降低了安全隐患，保障了煤液化反应的连续稳定进行，提高了煤液化产品的质量和产率。

2.2.2 加氢压缩机密封

加氢压缩机在煤液化工艺中负责输送高压氢气，为煤液化反应提供必要的氢气环境。由于氢气具有易燃易爆、渗透性强的特点，对压缩机的密封要求极为严格。机械密封技术通过优化设计，采用多弹簧单端面或双端面密封结构，增强密封的补偿能力和稳定性。在密封端面材料选择上，采用硬质合金与碳石墨的组合，既保证了端面的耐磨性，又具有良好的自润滑性能。同时，设置先进的冲洗和冷却系统，及时带走密封端面产生的热量，防止氢气因高温而发生泄漏和爆炸。机械密封在加氢压缩机上的成功应用，有效防止了氢气泄漏，提高了压缩机的运行安全性和可靠性，为煤液化工艺的稳定生产提供了有力保障。

2.3 在煤焦化工艺中的应用

2.3.1 炼焦炉密封

炼焦炉是煤焦化工艺的核心设备，在高温干馏过程中，炉内会产生大量荒煤气，若密封不佳，不仅会造成煤气泄漏污染环境，还会导致热量散失，影响焦炭质量和生产效率。机械密封技术应用于炼焦炉，主要针对炉门、炉顶装煤孔等部位。对于炉门密封，采用特殊的机械密封结构，结合耐高温的密封材料，如硅橡胶等，在炉门关闭时，通过机械压力使密封材料紧密贴合炉门与炉体，有效阻止荒煤气外泄。炉顶装煤孔的密封则利用可调节的机械密封装置，根据装煤操作的需要灵活调整密封状态，在装煤时短暂开启，装煤结束后迅速密封，减少煤气泄漏时间。机械密封技术的应用，使炼焦炉的密封性能显著提升，荒煤气泄漏量大幅降低，改善了作业环境，同时提高了焦炉的热效率，降低了能源消耗。

2.3.2 焦化气压缩机密封

焦化气压缩机负责将炼焦过程中产生的焦化气进行压缩输送，以满足后续工艺的需求。焦化气中含有多种腐蚀性成分和固体颗粒，且压缩机运行过程中压力和温度变化较大，对密封要求极高。机械密封技术通过采用高性能的密封材料和优化的结构设计来应对这些挑战。例如，选用碳化钨等硬质合金作为动、静环材料，提高密封面的耐磨性和耐腐蚀性；采用双端面机械密封结构，并在两密封端面间引入清洁的隔离液，形成液屏障，防止焦化气中的杂质进入密封端面，延长密封使用寿命。同时，配备先进的监控系统，实时监测密封的运

行状态,及时发现并处理潜在问题,确保焦化气压缩机的安全稳定运行,保障煤焦化工艺的连续性。

2.4 在煤化工关键设备中的应用

2.4.1 泵类设备密封

煤化工生产中,泵类设备用于输送各类介质,如煤浆、化学药剂、腐蚀性液体等,其工作条件复杂多样,对密封要求严格。机械密封在泵类设备中应用广泛,能有效解决泄漏问题。对于输送煤浆的泵,采用硬质合金与碳石墨组合的机械密封,硬质合金动环耐磨性强,可抵抗煤浆中固体颗粒的磨损;碳石墨静环自润滑性好,能降低摩擦系数。同时,配备合适的冲洗方案,如自冲洗或外冲洗,用清洁液体冲洗密封端面,带走杂质和热量,保证密封性能。在输送腐蚀性液体的泵上,选用耐腐蚀的密封材料,如哈氏合金、聚四氟乙烯等,防止介质腐蚀密封件。机械密封的应用,减少了泵的泄漏量,降低了设备维修频率,提高了泵的运行可靠性和效率,保障了煤化工生产的连续稳定进行。

2.4.2 反应釜密封

反应釜是煤化工中进行化学反应的关键设备,其内部可能涉及高温、高压、强腐蚀等恶劣工况,对密封的可靠性和安全性要求极高。机械密封在反应釜中发挥着重要作用,通常采用双端面机械密封结构。在两个密封端面间引入阻封液,形成液屏障,隔离反应介质与外界环境,防止泄漏和污染。密封材料根据反应介质特性选择,如对于含氯离子的腐蚀性介质,选用钛合金等耐氯腐蚀材料;对于高温工况,采用高温合金材料,确保密封在高温下仍能保持良好的弹性和密封性能。此外,配备先进的监测系统,实时监测密封的泄漏情况、温度和压力等参数,一旦发现异常及时报警并采取措施。机械密封的应用,保证了反应釜的密封性能,为煤化工反应的安全、高效进行提供了坚实保障^[2]。

3 机械密封技术在煤化工企业生产中的发展趋势

3.1 智能化发展

煤化工领域机械密封的智能化发展聚焦于实时监测与自主调控。通过在密封系统中嵌入光纤传感器,可实时监测温度、振动、泄漏量等参数,并借助工业互联网平台实现远程诊断。例如,西安交通大学团队构建的基于深度学习的密封失效预测模型,准确率达92%,已在炼化装置中成功应用。

3.2 新材料应用

新材料的应用为煤化工机械密封提供了性能跃迁的物理基础。碳化硅复合涂层因其低摩擦系数(仅为传统材料的30%)和高化学稳定性,在强酸、强碱及腐蚀性介质中表现优异,可显著延长密封件在恶劣环境中的使用寿命。此外,纳米强化密封环通过将碳纳米管或氧化锆纳米颗粒嵌入金属基体,使抗拉强度提升50%以上,同时保持优异的韧性,适用于高转速、高负荷工况。

3.3 非接触式密封技术发展

非接触式密封技术通过气膜或液膜实现介质隔离,具有零泄漏、长寿命和低能耗等优势。在煤化工领域,高温非接触式金属波纹管密封可替代传统湿式密封,在高达425°C的工况下可靠密封流程液体,同时省去冷却水及隔离液系统的需求,降低环保合规成本。此外,非接触式密封技术采用无摩擦运行模式,显著降低功率需求,提高泵组整体运行效率。

3.4 绿色环保发展

绿色环保是煤化工机械密封技术发展的重要方向。通过采用零泄漏密封技术和无油自润滑技术,可有效减少挥发性有机物(VOC)排放,助力“双碳”目标实现。例如,碳化硅/二硫化钼复合涂层在食品机械中替代传统油脂润滑,通过FDA认证并实现零污染。此外,循环修复技术体系的建立,如激光熔覆再制造工艺,使核电站主泵密封件的复用率达到85%,单件全生命周期成本降低40%^[3]。

结束语

机械密封技术作为煤化工企业生产中的关键保障,凭借其卓越的密封性能与可靠性,在煤气化、煤液化、煤焦化等核心工艺及泵类、反应釜等关键设备中发挥着不可替代的作用。随着智能化监测、高性能新材料、非接触式密封等技术的持续突破,以及绿色环保理念的深度融入,机械密封正朝着更高效、更安全、更可持续的方向迈进。

参考文献

[1] 丁刚,范作臣,李东洋.GW4-220型隔离刀闸底座机械密封技术的改造[J].电力安全技术,2021,(5):39-40.

[2] 马方波,宋鹏云,高杰.仿生学在机械密封技术中的应用和展望[J].化工机械,2021,(6):651-654.

[3] 邱兴仁.螺旋--机械密封的组合使用.炼油设备密封技术文集[J].炼油设备设计技术中心站,2021,(11):245-246