

螺杆压缩机碳环密封国产化改造对行业成本控制的影响

李 佳 袁风龙 (吉林石化公司化肥厂, 吉林 吉林 132021)

摘 要: 化工行业高度依赖专业化设备, 特别是螺杆压缩机中的碳环密封, 长期依赖昂贵的进口部件。国产化改造通过使用国内生产的替代品, 如碳环密封, 减少了对外部供应链的依赖, 降低了生产和维护成本, 提升了技术自主性和创新。吉林石化公司化肥厂苯乙烯装置采用国产碳环密封后, 备件成本和运行效率显著改善, 尤其在蒸汽和氮气消耗方面取得了显著节约。此外, 国产化还推动了相关制造技术和材料科学的进步, 提高了行业应对突发事件的灵活性。

关键词: 国产化改造; 碳环密封; 化工设备; 成本效益; 技术自主性

化工行业的设备依赖性显著, 尤其是在关键部件如螺杆压缩机的碳环密封上。这些部件对于保持生产效率和连续性具有至关重要的作用。由于对高品质和可靠性的需求, 许多企业长期依赖进口零部件, 这不仅成本高昂, 还可能因供应链问题影响生产效率。国产化改造提供了一个减少外部依赖、降低成本并提升自主技术能力的解决方案, 尤其在当前全球供应链面临不确定性的背景下显得尤为重要。

1 行业背景与国产化改造的必要性

1.1 化工行业的设备依赖性

化工行业依赖于高度专业化的设备来进行生产操作, 尤其是螺杆压缩机, 它在生产中扮演着至关重要的角色。吉林石化公司苯乙烯装置尾气压缩机由德国 MAN Turbo 设计制造的一台 SKUEL816 型双螺杆压缩机, 用于使脱氢反应系统保持负压, 同时把脱氢尾气送至变压吸附, 回收尾气, 该压缩机对于保证生产过程的连续性和效率至关重要。由于高品质和高可靠性的需求, 尾气压缩机长期依赖进口设备和零部件, 特别是核心部件如碳环密封。这些进口部件通常成本高昂, 且供应链长, 影响了设备的快速维护和成本效率^[1]。

1.2 国产化改造的经济动因

国产化改造是指替换关键设备中的进口部件, 如碳环密封, 使用国内生产的替代品。这一策略的推行初衷是减少对进口备件的依赖, 降低生产和维护成本。吉林石化公司化肥厂的案例显示, 采用国产碳环密封后, 备件成本和维护费用显著下降。例如, 原进口碳环密封单套价格约为 150 万元, 而国产化后价格仅为 90 万元。

1.3 技术自主性与创新推动

国产化不仅是经济因素的考虑, 也是技术自主性和创新的体现。通过国产化改造, 本土企业能够获得

更多的技术积累和改进机会, 从而提高国内设备制造水平。国产碳环密封的成功应用, 如在吉林石化公司的实施, 不仅证明了国内制造业在高端设备制造方面的竞争力, 也推动了相关制造技术和材料科学的进步。

2 碳环密封的功能与原进口依赖的成本分析

2.1 碳环密封的核心功能

碳环密封在螺杆压缩机中主要用于防止气体泄漏, 保证压缩系统的高效运行。碳环密封由耐高温、耐化学腐蚀的碳素材料制成, 能够承受高速旋转和温度变化。在吉林石化公司的应用中, 碳环密封的主要功能是维持尾气压缩机的密封完整性, 特别是处理包含氢气和其他化学成分的尾气。此外, 碳环密封的设计和材质还需适应机械运转中的热膨胀和物理磨损, 确保长期的密封效果。

2.2 原进口碳环密封的成本问题

原进口的碳环密封虽然性能稳定, 但其成本相当高昂。具体到吉林石化公司的实际应用, 进口碳环密封的价格为 150 万元人民币每套。由于高价的进口备件和维护成本, 这直接增加了整体的运营成本。进口零件通常还涉及长期的物流和供应链问题, 如国外制造商的生产周期和国际运输时间, 这些因素都会影响到设备的维修效率和生产连续性^[2]。

2.3 依赖进口的其他成本

除了直接购买成本外, 依赖进口的碳环密封还涉及其他经济负担。例如, 技术支持和售后服务通常不及时, 这对于要求连续生产的化工行业来说, 可能导致生产中断和额外的经济损失。此外, 密封系统在运行中对蒸汽和氮气的消耗也较高, 原进口密封的蒸汽消耗量为 4800NL/min。这样的消耗水平增加了运行过程中的能源成本, 对企业的总体能效和成本效益构成挑战。通过国产化改造, 这些成本得到了有效控制,

蒸汽消耗量降至 1800NL/min，从而实现了成本节约和能源效率的双重优化。

3 国产碳环密封的技术开发与实施过程

3.1 技术评估与标准制定

在国产化碳环密封的开发初期，技术团队进行了详尽的技术评估，旨在确定适用于螺杆压缩机的碳环密封的技术规格和标准。依据 API619（石油、化工和天然气工业用旋转容积式压缩机标准）和 API614（石油、化工和气体工业用润滑、轴密封和控制油系统及辅助设备标准）进行了设计和制造。此阶段主要包括对现有进口设备的详细分析，确保国产替代品能够与现有系统完美对接，不仅满足操作条件，同时提供相同或更优的性能。

3.2 材料选择与制造过程

国产碳环密封的材料选择关注于耐高温和化学稳定性。选用的是进口石墨材料，具备卓越的耐磨和耐腐蚀特性，适合在高温和含腐蚀性气体的环境中使用。制造过程中，碳环的内孔尺寸和浮动间隙按照精密计算进行设计，确保在不同操作条件下均能保持良好的密封效果。此外，为了提高碳环的结构强度和适应性，采用了镶嵌结构设计，金属套采用高强度不锈钢制造，以适应机械运行中的高压和高速旋转^[3]。

3.3 试验与性能验证

在制造完毕后，国产碳环密封进行了严格的性能测试。测试内容包括耐压测试、耐温测试和长时间运行测试，以确保其在实际工况中的稳定性和可靠性。所有测试都在模拟实际工作条件的试验台上进行，确保每个参数都符合设计标准。通过这些测试，国产碳环密封证明了其在压力、温度和化学环境下的优异表现，满足或超过了进口密封的性能标准。

3.4 现场实施与监控

国产碳环密封在 2019 年立项后，于 2021 年 9 月供货至现场，并在 2023 年 6 月安装至尾气压缩机上。安装过程中，国产密封厂家指派了经验丰富的工程师现场指导，确保安装的准确性和密封的最优性能。安

装后，进行了为期一个月的试运行，期间密封性能持续受到监控，确保其在全面商业运行前达到所有预定的性能指标。

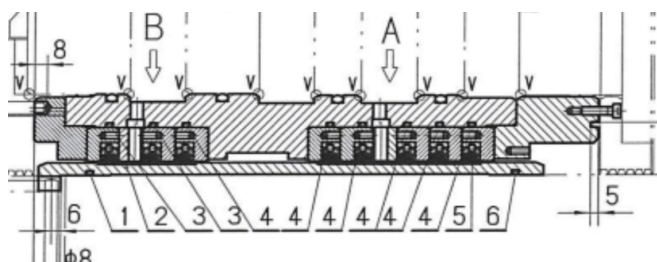


图 2 国产化密封结构图

3.5 行业发展与产业分析

国产化碳环密封的成功开发和实施，标志着国内化工设备制造能力的提升，对化工行业的供应链和成本结构产生了深远的影响。这一创新不仅减少了对外部供应链的依赖，还提高了国内制造业的技术水平和市场竞争力。长远来看，国产化碳环密封的推广将进一步促进国内化工行业的自给自足，为其他高科技设备的国产化提供了可行的模板和宝贵经验。

4 国产化碳环密封的经济效益与操作优势

4.1 显著的成本节约

国产化碳环密封通过替代昂贵的进口零件，显著降低了设备的运维成本。在吉林石化公司的案例中，进口碳环密封的单套价格约为 150 万元人民币，而国产化后的价格降至 90 万元人民币。假设一年内需要更换一次碳环密封，那么成本节约计算为：

$$\text{年度成本节约} = (150 - 90) \times \text{套数} = 60 \times 4 = 240 \text{ 万元}$$

此外，通过减少蒸汽和氮气消耗，进一步实现了操作成本的降低。原进口碳环密封的蒸汽消耗为 4800 NL/min，而国产化后降至 1800 NL/min。如果考虑每天 24 小时运行，年节约蒸汽量为：

$$\begin{aligned} \text{年节约蒸汽量} &= (4800 - 1800) \times 60 \times 24 \times 365 \\ &= 157680000 \text{ NL/年} \end{aligned}$$

4.2 提升的运行效率和维护便捷性

国产碳环密封的设计和制造符合国内操作环境和维护习惯，提高了设备的整体运行效率。由于材料和

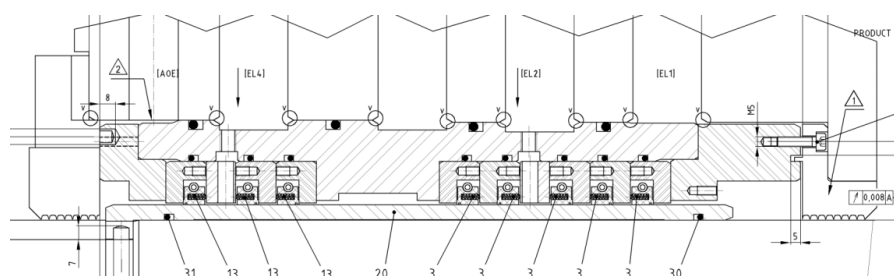


图 1 原进口密封结构图

工艺的优化, 国产碳环密封具备更好的耐温和耐压性能, 从而减少了因密封性能不稳定导致的机器停机和维护时间。同时, 国产化密封的供应链更短, 配件更易获取, 显著提高了紧急维护响应的速度和效率^[4]。

4.3 技术自主性的提高与产业驱动效应

国产化进程不仅降低了成本, 更增强了国内产业的技术自主性。通过自主研发的碳环密封技术, 国内厂家能够掌握核心技术, 减少对外部技术的依赖, 从而在全球市场中提高竞争力。这一过程还带动了相关产业链的发展, 如材料科学、机械制造和精密工程等领域, 进一步促进了国内制造业的整体升级和技术进步。

4.4 环境影响与能效提升

通过使用国产碳环密封, 显著降低了蒸汽和氮气的消耗, 这不仅减少了能源成本, 同时也降低了环境排放。假设蒸汽的产生效率为 80%, 且 1 吨蒸汽的生产需要 0.88 吨标准煤, 则节约的能源和减少的 CO₂ 排放量为:

$$\text{节约标准煤} = 0.88 \times 1000 \times \frac{1576800000}{1000 \times 1000} \text{ 吨}$$
$$\text{减少 CO}_2 \text{ 排放} = 2.67 \times \text{节约标准煤}$$

这些数据反映了国产化碳环密封不仅在经济上具有优势, 也在环保和可持续发展方面发挥重要作用。

4.5 行业发展与产业链影响

国产化碳环密封的推广和应用为化工及相关行业提供了成本效益高、性能可靠的密封解决方案, 推动了这些行业的成本效率和技术独立性。此外, 随着国产碳环密封技术的成熟和推广, 预计将激励更多国内企业投入到高端设备制造领域, 从而形成健康的技术创新和产业升级生态, 为国家的工业现代化贡献力量。

5 行业应用范围扩展与未来发展方向

5.1 扩展应用于多个工业领域

国产化碳环密封技术已在化工行业显示出显著的经济和操作优势, 其应用领域正逐步扩大至其他工业部门。例如, 在石油和天然气行业, 碳环密封可以用于提高压缩机和泵的效率 and 可靠性, 尤其是在处理高压气体和易挥发液体的应用中。电力产业中的蒸汽和气体轮机也可采用这种密封技术, 以减少能量损失并提升整体设备的安全性能。此外, 由于其优异的耐高温和抗化学腐蚀性能, 碳环密封亦开始被用于特殊化学过程和高温工业环境, 如钢铁制造和精细化学品生产^[5]。

5.2 技术改进和创新

面对未来的市场需求和技术挑战, 国产碳环密封技术持续在材料和设计上进行创新。新材料的开发, 如改性石墨或复合材料, 预计将进一步提高密封性能,

特别是在极端工况下的耐久性和可靠性。设计创新, 包括更精细的耐磨设计和自润滑特性的增强, 将使这些密封解决方案更加适应快速变化的工业需求。此外, 集成智能传感技术的碳环密封系统, 能够实时监控密封状态和性能, 预示着向智能化和自动化方向的发展, 为预测性维护和故障诊断提供支持。

5.3 市场扩张和全球布局

随着国产碳环密封技术的成熟和认可度提高, 市场扩展成为其自然的发展方向。目前, 国内市场对高性能和成本效益兼具的密封解决方案的需求日益增长。国产密封技术的制造商正在寻求将业务扩展到国际市场, 特别是到发展中国家, 其中许多国家的工业基础设施正在迅速发展, 对高质量且具有成本效益的工业组件的需求增长迅速。此外, 通过参与国际标准制定和技术交流, 国产密封制造商可以进一步提高其产品的国际竞争力和市场接受度。

6 结语

国产碳环密封的成功应用标志着化工设备制造能力的显著提升, 不仅减少了对进口部件的依赖, 还提高了行业的技术自主性和市场竞争力。通过国产化, 相关产业链得到了整合与优化, 增强了行业的自给自足能力。未来, 国产化将进一步扩展至更多工业领域, 同时预计将通过技术创新和市场扩张提高其全球竞争力。此外, 国产碳环密封的环保性和能效提升也将为实现工业的可持续发展目标提供重要支撑。

参考文献;

- [1] 秦涛, 王云飞, 姬小鹏, 等. 螺杆式压缩机碳环密封国产化改造 [J]. 石油化工设备, 2018, 47(02): 61-66.
- [2] 陆昕. 螺杆压缩机干式浮环密封的国产化研究 [J]. 炼油与化工, 2013, 24(05): 45-47+63.
- [3] 张雪敏, 张勇刚, 钱金龙. 压缩机浮环密封的国产化使用 [J]. 大氮肥, 2020, 43(05): 327-329.
- [4] 胡涛, 林艳斐, 谢楷. 碳环密封应用在工艺螺杆压缩机上的常见问题分析 [J]. 压缩机技术, 2015(06): 35-38+43.
- [5] 施建军, 韩凌俊. 螺杆式煤气压缩机密封的设计改进 [C]// 中国金属学会 (The Chinese Society for Metals), 宝钢集团有限公司 (Baosteel Group Corporation). 第十届中国钢铁年会暨第六届宝钢学术年会论文集 III. 宝钢股份设备部, 2015: 6.

作者简介:

李佳 (1983-), 男, 吉林省伊通县, 满族, 大学本科, 工程师, 研究方向: 化工机械。