

氯碱企业氯气压缩机的升级改造、节能优化与增效降碳效益分析

张晓东（山西榆社化工股份有限公司，山西 晋中 031800）

摘要：本文以山西榆社化工股份有限公司为例，探讨了氯碱企业氯气压缩机的升级改造、节能优化及增效降碳的实践。通过对十八万吨氯处理装置的5台氯压机进行升级整合，阐述了改造方案的实施过程，分析了节能优化措施带来的效益提升，并对增效降碳成果进行了总结。研究表明，合理的升级改造能有效提高氯压机运行效率，降低能耗，实现经济效益与环境效益的双赢，为氯碱行业的可持续发展提供了参考。

关键词：氯碱企业；氯气压缩机；升级改造；节能优化；增效降碳；效益分析

中图分类号：TQ114 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)027-0088-03

Upgrade and Transformation of Chlorine Compressors in Chlor-Alkali Enterprises, Energy-Saving Optimization, and Benefit Analysis of Efficiency Improvement and Carbon Reduction

Zhang Xiaodong (Shanxi Yushe Chemical Industry Co., Ltd., Jinzhong Shanxi 031800, China)

Abstract: Taking Shanxi Yushe Chemical Co., Ltd. as an example, this paper discusses the practice of upgrading and transforming chlorine compressors, energy-saving optimization, efficiency improvement and carbon reduction in chlor-alkali enterprises. By upgrading and integrating the 5 chlorine compressors of the 180,000-ton chlorine treatment unit, it expounds the implementation process of the transformation scheme, analyzes the benefit improvement brought by energy-saving optimization measures, and summarizes the achievements of efficiency improvement and carbon reduction. The research shows that reasonable upgrading and transformation can effectively improve the operation efficiency of chlorine compressors, reduce energy consumption, achieve a win-win situation of economic and environmental benefits, and provide a reference for the sustainable development of the chlor-alkali industry.

Keywords: chlor-alkali enterprise; chlorine compressor; upgrade and transformation; energy-saving optimization; efficiency improvement and carbon reduction; benefit analysis

在氯碱生产过程中，氯气压缩机作为核心设备，对氯气的输送起着关键作用。其运行效率直接影响到企业的生产效益和能源消耗。随着环保要求的日益严格和企业对成本控制的需求，对氯气压缩机进行升级改造、实现节能优化与增效降碳成为氯碱企业发展的必然趋势。山西榆社化工股份有限公司针对十八万吨氯处理装置的5台氯压机进行的升级整合，具有重要的实践意义和参考价值。

1 氯气压缩机升级改造背景与目标

1.1 现有氯压机运行状况

山西榆社化工股份有限公司十八万吨氯处理装置原有5台氯压机，长期以来采用四开一备的运行模式支撑着企业氯处理环节的稳定运行。然而，经过多年连续运行，部分氯压机逐渐暴露出一系列影响生产的问题。在性能方面，设备的密封性能出现明显下滑，氯气作为一种剧毒且具有强腐蚀性的气体，其泄漏风险的增加不仅严重威胁着一线操作人员的生命安全，还可能对周边环境造成极大危害。同时，叶轮在长期

高速运转过程中磨损严重，叶轮表面出现不同程度的划痕和变形，这直接导致气体压缩效率大幅降低。原本能够稳定达到的压缩参数，如今需要设备消耗更多能量才能勉强维持，使得单位产量的能耗显著上升。从运行成本角度来看，设备性能下降带来的直接后果是能耗增加。数据显示，与设备初期运行阶段相比，现有氯压机的单位小时耗电量上升了约15%，按照装置年运行8000h、工业电价0.5元/度计算，仅此一项每年就增加电费支出数十万元。此外，频繁的故障维修也让企业不堪重负，磨损部件的更换频率加快，维修材料成本和人工成本逐年攀升，据统计，近三年来氯压机的年均维修费用较前三年增长了20%以上。这些问题的叠加，不仅大幅增加了企业的运行成本，更对安全生产和环境保护构成了持续威胁，设备升级改造迫在眉睫。

1.2 升级改造目标

本次升级改造工作以解决现有设备问题、提升整体运行水平为核心，旨在全面提高氯压机的运行稳定性。

性和可靠性，从根本上降低能耗，最大限度减少氯气泄漏风险，最终实现企业增效降碳的战略目标。具体目标设定如下：优先对2#、4#氯压机进行升级替换，通过引入先进设备和技术，显著提升其压缩效率和综合性能，使其成为氯处理装置的主力设备；将1#、3#、5#氯压机调整为备用设备，通过全面检修和维护，确保其在主力设备突发故障等紧急情况下能够迅速投入运行，保障装置的连续稳定生产；同步对控制系统进行智能化升级，实现氯压机运行过程的精准调控和自动化管理，减少人为操作误差，提高生产效率。通过这一系列改造措施，力争使氯处理装置的整体能耗降低10%以上，氯气泄漏风险降低50%以上，为企业创造更大的经济和环境效益。

2 升级改造方案实施

2.1 2#、4# 氯压机升级替换

在设备选型阶段，经过多方调研和技术论证，最终选用了目前行业内新型高效的氯气压缩机。该设备采用国际先进的三元流气动设计技术，通过计算机流体动力学模拟优化了叶轮的几何形状，使叶轮的能量转换效率大幅提高，相比传统叶轮效率提升了8%-12%。在轴封形式上，创新性地采用五段迷宫式抽充气结构，通过多级密封和压力梯度控制，将氯气泄漏量控制在极低水平，有效降低了泄漏风险。同时，新设备配套采用了高速永磁电机，该电机相比传统三相异步电机具有显著的效率优势，在不同负载工况下效率提高了2%-5%。特别是在部分负荷运行时，其高效区间更宽，节能效果更为明显。在安装过程中，施工团队严格按照设备安装手册和行业规范进行操作，对设备基础进行了精密找平，水平度控制在0.02mm/m以内，确保设备的安装精度符合设计要求。考虑到原有管道布局存在局部阻力过大的问题，对设备的进出口管道进行了重新设计和布置，采用大曲率半径弯头和优化的管径匹配，减少了管道沿程阻力和局部阻力损失，使气体输送效率提高了约5%。此外，在管道连接处采用了新型密封材料，进一步增强了系统的密封性。

2.2 1#、3#、5# 氯压机备用设置优化

对于将作为备用的1#、3#、5#氯压机，企业组织专业技术人员进行了全面的检修和维护。首先对设备进行了全面拆解检查，更换了磨损严重的叶轮、轴承、密封件等核心零部件，对机壳内部进行了打磨修复，恢复了设备的原始配合精度。针对氯气环境下设备易腐蚀的问题，对设备的关键部件进行了防腐处理，采用特种防腐涂料喷涂和阴极保护技术，延长了设备的耐腐蚀寿命。为确保备用设备随时能够投入运行，

建立了完善的备用设备定期巡检制度。每周由设备管理部门和生产车间联合对备用氯压机进行一次全面检查，检查内容包括设备的外观有无锈蚀和损坏、润滑油液位和油质状况、密封系统的压力参数、电机绝缘性能等，并详细记录检查数据，形成设备状态档案。每月进行一次备用设备的空载试运行，确保设备各系统运行正常。同时，优化了备用设备的切换流程，制定了详细的应急切换操作规程，明确了操作人员的职责和操作步骤。每季度组织一次应急切换模拟演练，通过模拟主力设备突发故障的场景，锻炼操作人员的应急响应能力，使切换时间从原来的30min缩短至15min以内，提高了操作人员在紧急情况下的切换速度和准确性，保障了装置的连续生产。

2.3 控制系统优化

为实现氯压机的智能化运行，引入了先进的DCS控制系统，构建了覆盖氯压机运行全参数的监测和调控网络。在设备关键部位安装了高精度传感器，实时采集氯压机的进出口压力、温度、流量、振动、轴位移、电机电流、电压等20余项运行参数，传感器数据通过专用数据总线传输至DCS系统，数据传输速率达到100Mbps，确保了数据的实时性和准确性。DCS系统根据预设的工艺参数范围和控制逻辑，自动调整氯压机的运行状态。例如，当进口压力低于设定值时，系统通过PID调节回流，以保证出口压力稳定在工艺要求范围内；当检测到设备振动超标时，系统会自动联锁报警、停机，防止设备损坏。根据长期运行数据优化控制参数，使设备始终处于最佳运行状态。为提高设备的故障处理效率，设置了多级故障报警功能。当设备出现参数越限、部件故障等异常情况时，系统立即发出声光报警信号，并在监控画面上显示故障位置和原因提示，同时自动将故障信息发送至相关管理人员的手机终端，提醒操作人员及时处理。此外，DCS系统还具有完善的数据记录和分析功能，能够存储设备一年以上的运行数据，为设备性能分析和故障诊断提供了有力支持。

3 节能优化措施

3.1 优化运行参数

升级改造完成后，企业组织技术人员对氯压机的运行数据进行了全面分析，确定了不同生产负荷下的最佳运行参数范围。在保证下游生产装置氯气供应压力和流量稳定的前提下，经过多次试验调整，适当降低了压缩机的出口压力设定值，从原来的0.18MPa降至0.17MPa，在满足生产需求的同时，减少了压缩机的压缩功消耗。根据生产负荷的变化，对氯压机采用了变频调速技术，通过DCS系统与变频控制器的联动

控制，实现了压缩机转速的实时调整。当生产负荷降低时，自动降低电机转速，使压缩机的输出流量与实际需求相匹配，避免了“大马拉小车”的能源浪费现象。经实际测算，在生产负荷波动较大的情况下，采用变频调速技术后，氯压机的平均能耗降低了约10%，其中在低负荷时段节能效果更为显著，可达15%以上。

此外，还优化了多台设备的运行组合方式，根据不同的生产工况合理安排运行设备数量和负荷分配，使每台设备都工作在高效运行区间，进一步提高了系统的整体运行效率。

3.2 改进冷却系统

氯压机在运行过程中会产生大量压缩热，冷却系统的效率直接影响设备的运行性能和能耗。本次升级对氯压机的冷却系统进行了全面改造，将原有冷却器更换为新型高效板式冷却器，该冷却器采用钛合金材质传热板片，具有更大的传热面积和更高的传热系数，相比传统管壳式冷却器冷却效率提高了20%-30%。同时，优化了冷却水流道设计，采用逆流式换热流程和合理的流速控制，减少了水流阻力损失，使冷却水泵的运行电流降低了约8%，降低了冷却水泵的能耗。为确保冷却水质，在冷却水系统中增加了自动反冲洗过滤器和水质软化装置，有效防止了冷却器内部结垢和堵塞。建立了冷却系统定期维护制度，每月对冷却器的进出口温差、压力降等参数进行监测分析，每季度对冷却系统进行一次化学清洗和维护，及时清除水垢和杂质，保证冷却系统的换热效率始终保持在较高水平，防止因冷却效果不佳导致能耗增加的问题。

4 增效降碳效益分析

经济效益提升。升级改造后，氯压机的运行效率得到显著提高，生产能力实现了大幅提升。以年生产时间8000h计算，在进气工况相同的条件下，升级前2台氯压机的平均产气能力为 $3900\text{m}^3/\text{h}$ ，升级后单台氯压机的产气能力提高至 $4700\text{m}^3/\text{h}$ ，相当于原来的2台设备的产气能力。两台升级后的氯压机每年可多生产氯气： $(4700 \times 2 - 3900 \times 2) \times 8000 = (9400 - 7800) \times 8000 = 1600 \times 8000 = 12,800,000\text{m}^3$ 。两台升级后的氯压机每年可多生产氯气1280万 m^3 ，约6万t。氯气作为重要的化工原料，市场应用广泛，按氯气市场价格50元/t最低价计算，每年可增加经济效益300万元。

在电力消耗方面，改造前后的电机运行成本差异显著。改造前4台380V、额定功率200kW、效率94%的氯压机电机，其实际运行功率按平均负荷80%计算，单台电机的实际耗电功率为 $200 \times 80\% \div 94\% \approx 170.21\text{kW}$ ，4台总功率为 $170.21 \times 4 \approx 680.84\text{kW}$ ，

年耗电量为 $680.84 \times 8000 \approx 5,446,720^\circ$ ，年电费支出为 $5,446,720 \times 0.5 \approx 2,723,360$ 元。

改造后2台6KV、额定功率355kW、效率92%的氯压机电机，实际运行功率按平均负荷85%计算，单台电机的实际耗电功率为 $355 \times 85\% \div 92\% \approx 333.07\text{kW}$ ，2台总功率为 $333.07 \times 2 \approx 666.14\text{kW}$ ，年耗电量为 $666.14 \times 8000 \approx 5,329,120^\circ$ ，年电费支出为 $5,329,120 \times 0.5 \approx 2,664,560$ 元。通过对比计算，年节约电费约为 $2,723,360 - 2,664,560 = 5.88$ 万元。

此外，由于设备运行稳定性提高，故障停机时间大幅减少。改造前，原有设备平均每月因故障停机1-2次，每次停机处理时间约4h，年累计停机时间约80h，造成的生产损失和维修费用约10万元。改造后，设备故障停机时间减少至每年不足10h，相应减少损失约9万元。同时，新设备的维护周期延长，维护费用降低，每年可节省维护成本约5万元。

综合计算，升级改造后每年可为企业增加经济效益约 $300 + 5.88 + 9 + 5 \approx 320$ 万元。

5 结论与展望

本次升级改造的成功实施，为企业关键设备的技术升级积累了宝贵经验。在改造过程中，通过设备选型优化、系统集成创新和管理机制完善，构建了一套适合企业实际的设备升级改造模式，为其他生产装置的技术改造提供了借鉴。在未来的发展中，氯碱企业应继续加大对新技术、新设备、新工艺的研发和应用投入，密切关注行业技术发展动态，不断对氯气压缩机等关键设备进行升级改造和优化。可以进一步探索数字孪生技术在氯压机运行监控中的应用，通过构建虚拟设备模型，实现设备全生命周期的精准管理和预测性维护，进一步提高设备的运行可靠性和效率。

参考文献：

- [1] 贺鹏飞. 氯碱生产系统仪表及自控阀异常的分析及处置[J]. 氯碱工业, 2024, 60(08): 23-25.
- [2] 史晓燕. 离心式氯气压缩机在氯碱行业中的应用及选型[J]. 压缩机技术, 2023, (05): 62-64.
- [3] 孔凡林. 氯气压缩机倒机操作方案[J]. 冶金与材料, 2023, 43(06): 139-141.
- [4] 孙成芳, 王智远, 黄学文. 氯气压缩机一键开车自动化改造[J]. 氯碱工业, 2022, 58(01): 31-32.
- [5] 李宁. 氯碱生产过程中节能降耗措施的探讨[J]. 氯碱工业, 2012, 48(009): 41-45.
- [6] 马新力. 氯气高压液化技术在氯碱生产中的应用[J]. 中国化工贸易, 2014, 000(029): 144-144.
- [7] 陈战胜. 高压法液氯生产中压缩机故障的理论分析[J]. 中国化工贸易, 2015, 7(026): 112.