

磁悬浮风机在脱硫氧化系统技术改造中的应用与综合效益分析

王金

国家能源集团宁夏煤业公司烯烃一分公司 宁夏 银川 750411

摘要: 针对化工行业脱硫氧化风系统中传统罗茨风机存在的能耗高、噪声污染严重、故障频发及维护成本高昂等共性难题,本研究以某化工企业动力站为实施对象,开展了将8台双级罗茨鼓风机整体升级为磁悬浮离心式风机的技术改造工程。本文系统阐述了技术改造的背景、磁悬浮技术的核心原理、具体的实施方案,并对改造后的运行效果进行了全面的数据化对比与综合分析。实际运行数据表明,改造取得了显著成效:单台风机平均运行功率下降57kW,系统节电率达21%,年节约电费约17.78万元;设备噪声降低约20dB(A),工作环境达到国家职业健康标准;设备故障率同比下降超过77%,维护工作量与成本大幅削减。本工程实践不仅验证了磁悬浮技术在苛刻工业环境下的高可靠性与卓越性能,更从节能降耗、环境保护、经济效益及运行维护等多个维度,为流程工业流体输送设备的绿色、智能升级提供了具有高度借鉴价值的成功案例与技术路径。

关键词: 脱硫氧化空气系统;磁悬浮鼓风机;节能改造;噪声控制;运行可靠性;经济效益

引言:在“双碳”目标驱动下,工业领域节能降耗与环保升级需求日益迫切。作为烟气脱硫系统的核心设备,传统氧化风机(如罗茨风机)长期存在能耗高、噪声大、维护成本高、运行稳定性差等瓶颈问题,不仅制约脱硫效率提升,更成为企业降本增效的“卡脖子”环节。磁悬浮风机凭借其无接触悬浮、高效节能、智能调控等核心技术优势,成为脱硫氧化系统技术改造的理想选择。通过电磁力实现转子无摩擦运行,磁悬浮风机可精准匹配工艺需求,将节能率提升至30%—40%,同时将噪声控制在75dB(A)以下,并大幅延长设备寿命至20年以上。本文将系统剖析磁悬浮风机在脱硫氧化场景中的技术原理、改造路径及综合效益,为工业领域绿色转型提供实践参考。

1 项目背景与问题分析

某化工企业动力站装置,为确保烟气二氧化硫排放达到国家超低排放标准,采用氨法脱硫工艺。其中,氧化风机系统是脱硫装置的核心设备之一,负责向吸收塔提供充足的空气,将脱硫反应中间产物亚硫酸铵/亚硫酸氢铵强制氧化为稳定的硫酸铵,其运行的稳定性、经济性与环保性直接影响整个脱硫系统的效能。

原系统配置8台(5用3备)双级罗茨鼓风机。自投运以来,该型风机固有的技术缺陷日益凸显,成为制约装置安全、清洁、稳定、经济运行的关键瓶颈。主要问题集中体现在以下四个方面:

1.1 能耗水平居高不下

罗茨风机属于容积式风机,依靠转子间隙的周期性变化来输送气体,其内泄漏损失大,尤其在压力波动时效率衰减明显。实测运行功率接近其装机功率(300kW),调节能力差,在非满负荷工况下“大马拉小车”现象突出,电能浪费严重。

1.2 噪声污染触目惊心

罗茨风机运行时产生的噪声是典型的空气动力性噪声与机械噪声的混合体,主要来源于排气的周期性脉动、齿轮啮合及轴承振动。现场实测风机房区域噪声高达100-105dB(A),远超《工业企业设计卫生标准》(GBZ1-2010)中85dB(A)的限值。长期暴露于此环境,对操作人员的听力健康构成严重威胁,也影响了厂区的整体环境质量。

1.3 设备可靠性差,维护负担重

由于存在机械接触和摩擦,罗茨风机的轴承、齿轮、密封件等属于易损件。统计显示,原系统年均故障次数高达18次,故障类型包括轴承温度过高、皮带断裂、油封泄漏、冷却水故障等,导致非计划停机频发。此外,其检修核心在于对转子与转子、转子与机壳之间微小间隙的精密调整,技术难度大、耗时耗力,对检修人员技能要求极高,维护成本长期居高不下。

1.4 系统复杂,辅助故障点多

为保障罗茨风机运行,原系统设置了单向阀、卸荷阀等复杂的管路附件。这些阀门自身的故障(如卡涩、内漏)也成为了系统链中的薄弱环节,增加了系统整体

的故障概率和运维复杂性。

为解决上述痛点，推动装置向更高效、更环保、更智能的方向升级，决定采用先进的磁悬浮风机技术对氧化风机系统进行彻底改造^[1]。

2 磁悬浮风机技术原理与核心优势

磁悬浮离心式鼓风机是集成高速永磁同步电机、主动磁悬浮轴承、高效三元流叶轮及智能变频控制于一体的新一代流体装备。其技术先进性主要体现在：

2.1 无接触悬浮原理

核心在于主动磁悬浮轴承技术。通过位置传感器实时精确检测转子位置（精度达微米级），将信号传至控制器，控制器瞬间计算出所需的电磁力，驱动电磁铁产生相应磁场，使转子稳定悬浮于设定位置，实现转子与定子之间完全无机械接触、无润滑、无摩擦运行。这从根本上消除了机械磨损，是设备长寿命、高可靠性的基石^[2]。

2.2 高效节能特性

采用高速永磁同步电机直接驱动高效离心叶轮，无需齿轮增速，传动损失小。电机效率可达96%以上。同时，风机遵循离心式机械的相似定律，流量与转速成正比，压力与转速的平方成正比。通过变频器精确调节电机转速，即可在宽范围内（通常40%–100%）线性调节风量和压力，使之始终与实际工艺需求完美匹配，避免不必要的能量损失。

2.3 低噪声低振动

由于无机械接触和摩擦，主要噪声源被消除。运行噪声主要来自空气流动，声压级比罗茨风机降低20dB(A)以上。同时，主动磁轴承能有效抑制振动，设备振动值通常小于1.0mm/s，基础负载小，安装要求简化^[3]。

2.4 智能集成控制

内置先进的PLC或专用控制器，具备一键启停、喘振

保护、故障自诊断、参数远程监控等功能。可根据后端工艺参数（如塔内pH、液位）自动调节风量，实现智能化运行。丰富的运行数据记录和预测性维护功能，为设备管理提供了数字化支持。

3 技术改造实施方案

本项目对A、B两个标段共8台氧化风机进行整体替换。为确保改造顺利进行并最小化对生产的影响，制定了周密的实施方案：

3.1 设备选型与设计

基于原系统最大工艺需求（风量131.7m³/min，压力需克服系统阻力），并考虑一定裕量，选定适配的磁悬浮风机型号。新风机设计压力为110kPa，虽低于罗茨风机的标称压力，但完全满足实际系统阻力要求，避免了过压造成的能量浪费。电气上采用380V电压，相较于原6kV电机，降低了配电复杂度与安全隐患^[4]。

3.2 安装与系统简化

利用原有基础进行适应性改造，增加减振措施。拆除原有的单向阀、卸荷阀等冗余管路附件，简化了管道系统，减少了泄漏点和故障源。新的自循环冷却系统集成度高，取代了复杂的外接冷却水管道。

3.3 调试与投运

采用分步、分标段实施策略，确保至少一半的备用容量。调试重点包括：磁悬浮轴承的稳定起浮测试、变频控制系统与原有DCS的通讯联调、风量-压力特性曲线验证、以及安全连锁保护功能测试。新系统实现了远程集中监控和自动控制^[5]。

4 改造后效果综合评估

改造完成后，经过连续数月的稳定运行监测，对各项关键指标进行了全面评估：

4.1 罗茨风机与磁悬浮风机设备参数对比

表1 设备基本参数对比

产品参数	磁悬浮离心式风机	罗茨式风机
型号	YY300	BBZ-7000
排气压力	110kPa	147kPa
进口风量	131.7m ³ /min	131.7m ³ /min
电源电压	380V	6000V
运行功率	259.1kW ± 2%	270kW
装机功率	300kW	300kW
排气口径	DN350	DN350
冷却方式	自循环水冷却系统	自循环水冷却系统
电机启动方式	变频启动	定频启动

4.2 节能效益显著

单台风机实测运行功率从270kW下降至213kW，节电

率达21.1%。按年运行8000小时、电价0.39元/kWh计算：

单台年节电量：(270-213)kW × 8000h = 456,000kWh

单台年节约电费： $456,000\text{kWh} \times 0.39\text{元/kWh} = 177,840\text{元}$
 全系统（按5台常开计）年节约电费可达88.92万元，节能效益巨大。

4.3 环境噪声大幅降低

改造后，对风机房进行网格化噪声检测，各测点噪声值稳定在82.7-83.6dB(A)之间，平均降噪超过20dB(A)。工作环境得到根本性改善，完全符合国家职业健康标准，保护了员工身心健康，履行了企业社会责任。

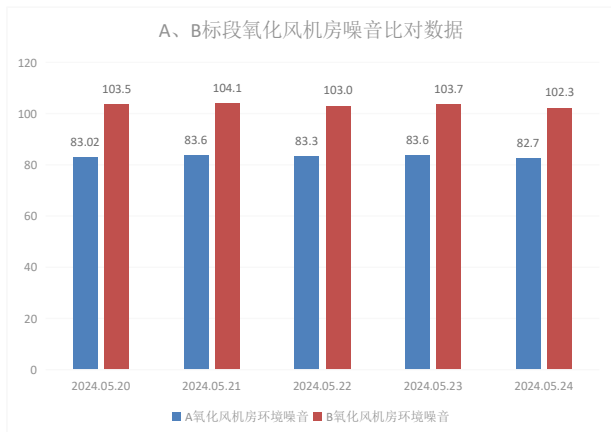


图1 改造后氧化风机房噪音对比情况

4.4 运行可靠性的飞跃

改造后，风机故障类型由机械故障为主转变为极少的控制系统预警。统计周期内，故障次数由原来的年均18次降至4次以下，故障率下降超过77%。无润滑、无磨损的运行模式，使得日常维护仅限于进风口过滤网的清洁和电气系统的检查，维护工作量与成本减少约70%。

4.5 工艺稳定性提升

磁悬浮风机提供的气流更加平稳、连续，压力波动远小于罗茨风机的脉动输出。监测数据显示，运行期间一次风压最大：108.92kPa，一次风压最小：99.78kPa，二次风压最大：27.37kPa，二次风压最小：13.29kPa，符合指标要求。供给脱硫塔的氧化风压稳定性提高约60%，有利于塔内化学反应的稳定进行，间接提升了脱硫效率的稳定性。

4.6 社会与综合管理效益

除了直接的经济和环保效益，改造还带来了显著的间接效益：降低了员工的劳动强度和职业健康风险；减少了因设备故障导致的非计划停产风险及潜在的环保排

放风险；简化的系统和智能化的监控，降低了对运行维护人员经验和技能的门槛要求，提升了管理效率^[6]。

5 结论与展望

国家能源集团宁夏煤业公司烯烃一分公司动力站脱硫氧化风机的磁悬浮技术改造项目，取得了圆满成功。实践证明：

技术完全可行：磁悬浮离心式鼓风机能够完全满足化工脱硫氧化工艺的苛刻要求，且在压力、流量调节上更具灵活性。

经济效益突出：显著的节电效果使得投资回收期短（本项目约1-2年），长期运行成本优势明显。

环保与社会效益双赢：彻底解决了高噪声污染问题，改善了工作环境，体现了绿色制造理念。

提升本质安全与可靠性：从根本上消除了机械磨损故障，系统简化，智能化程度高，大大提升了装置长期稳定运行的保障能力。

本次改造不仅是单一设备的替换，更是一次成功的“设备赋能、系统优化、管理升级”的综合实践。它为全国范围内大量使用传统罗茨风机、液环风机等高能耗设备的化工、电力、冶金、污水处理等行业的节能降耗技术改造，提供了一个可复制、可推广的标杆案例。随着磁悬浮技术成本的进一步下探和产业链的成熟，其必将在工业流体机械的升级换代中扮演越来越重要的角色，为工业领域的“双碳”目标实现贡献关键技术力量。

参考文献

- [1]胡荣华.电厂湿法脱硫系统能耗特性与节能优化探讨[J].科学技术创新.2021,(33):152-155.
- [2]朱金义.新型高效风机在脱硫工艺提标改造中的应用[J].节能技术.2020,(11):128-131.
- [3]徐书德,雷石宜,陈彪.湿法脱硫氧化风系统的优化改造实践[J].浙江电力.2021,(03):50-52.
- [4]姚艳萍,邵明静,马红刚,等.磁悬浮风机应用节电效果分析[J].中国水泥,2022,(04):95-98.
- [5]白建庭,王志强,常卓.空气悬浮风机在节能降噪技改中的应用[J].水泥技术,2021,(02):102-104.
- [6]姚亚委.磁悬浮氧化风机在大型火电脱硫系统中的价值分析[J].建筑技术科学,2025,(08):96-98.