

制氧系统中关键设备的维护与管理研究

索全宝 何琳 郑海燕

安阳钢铁股份有限公司 河南安阳 455000

摘要：现代制氧系统的设备管理已从被动维修转向全生命周期维护模式。氧气压缩机、储气罐、精密过滤器等关键设备的维护要点各有侧重：压缩机需监控振动与排气温度，储气罐重点检测焊缝与壁厚，过滤器则需记录压差变化与更换周期。智能化监测技术的应用实现了设备状态的实时评估，如振动传感器与热成像仪可提前发现机械异常。维护策略需区分日常巡检、定期保养与状态维修三个层级，形成阶梯式管理架构。备件管理应建立关键部件的库存预警机制，确保维修时效性。设备档案的数字化管理为维护决策提供历史数据支撑。

关键词：制氧系统；关键设备维护；管理

引言

制氧系统作为医疗与工业领域的核心供氧装置，其设备可靠性直接影响氧气供应的稳定性。空压机、分子筛、冷干机等关键设备构成完整制氧链条，各环节维护标准存在显著差异。空压机需定期更换润滑油并监测轴承温度，分子筛吸附塔要控制再生周期与压差参数，冷干机则需重点维护冷凝器与制冷剂充注量。科学的预防性维护可降低设备突发故障率，延长核心部件使用寿命。建立标准化维护流程需结合设备运行数据与制造商技术规范，形成可量化的维护指标。人员培训应覆盖设备原理、操作规范与应急处理等内容，提升维护作业的专业性。

一、制氧系统关键设备概述

1. 关键设备种类

制氧系统由多个功能单元组成，各单元包含特定功能的专业设备。空气压缩机通过机械方式将环境空气压缩至工作压力，为后续处理提供动力源。空气储罐作为缓冲容器，平衡系统压力波动并分离液态水分。冷冻式干燥机运用制冷原理降低压缩空气露点温度，去除气态水分。吸附式干燥机内装分子筛材料，通过变压吸附工艺深度脱水。精密过滤器采用多级滤芯结构，逐级清除颗粒物、油雾等杂质。制氧主机包含分子筛吸附塔组，利用压力变化实现氮氧分离。氧气储罐储存成品氧气，维持稳定输出压力。控制系统由PLC、传感器和执行机构组成，实现全自动运行监测。各设备通过管道阀门连接，形成完整的空气处理与氧气制备流程。

2. 设备在系统中的作用

空气压缩机提供系统所需的动力源，将常压空气提

升至工艺要求的压力水平。储气装置缓解压缩机脉动输出，同时实现气液初步分离。干燥设备确保空气露点符合分子筛吸附要求，防止水分导致的吸附剂失效。过滤单元保护后续设备免受颗粒物磨损，延长关键部件使用寿命。制氧主机的吸附塔组通过周期性压力变换，实现空气中氮气组分的选择性吸附。氧气缓冲罐平衡产氧与用氧的瞬时差异，保证供气连续性。控制单元协调各设备运行时序，实现启停联锁与故障保护。检测仪表实时监控压力、纯度等关键参数，为系统调节提供数据支持。

二、制氧系统关键设备维护策略

1. 日常巡检要点

压缩机巡检包括油位检查、冷却器清洁度和运行噪声评估。储气罐日常点检需确认排水阀功能、外表面腐蚀状况和安全阀铅封完整性。干燥设备检查涵盖制冷剂压力、冷凝水排放情况和再生温度曲线。过滤器压差计读数记录是判断滤芯堵塞程度的重要依据。制氧主机巡检需观察吸附塔切换动作、分析仪示值和消声器状态。储氧设备检查重点为焊缝外观、支座沉降和防腐层状况。控制柜巡检包括指示灯状态、散热风扇运行和接线端子紧固度。管道系统需排查法兰密封、支架位移和振动异响等情况。仪表校验需比对现场显示与控制系统读数的一致性。电气设备测温重点为电机轴承、电缆接头等易发热部位。巡检发现异常需立即标注并启动分级处理流程。

2. 定期保养内容

压缩机保养需按运行小时更换润滑油、清洗进气滤清器和校验安全装置。储气罐定期检验包括内壁检查、焊缝探伤和水压试验等法定项目。冷冻干燥机保养涵盖

制冷剂补充、冷凝器翅片清洁和排水器滤网更换。吸附式干燥机维护需更换分子筛、清洗消音器和校准再生气动阀。过滤器定期维护包括滤芯更换、密封件检查和壳体耐压测试。制氧主机保养涉及吸附塔填料补充、切换阀密封圈更换和分析仪标定。储氧设备维护包含安全阀校验、防腐层修补和接地电阻检测。控制系统保养需进行模块除尘、电池更换和程序备份等操作。管道系统维护包括阀门润滑、支架调整和压力表校验等项目。电气设备保养涵盖电机轴承加油、绝缘测试和接触器触点清理。保养记录需详细记载更换部件、测试数据和操作人员等信息。

3. 故障维修方法

压缩机异响故障需逐步排查连杆轴承、十字头销等运动部件磨损情况。储气罐压力异常应检查安全阀设定值、压力传感器精度和控制系统逻辑。干燥机露点超标需依次排查制冷系统、吸附剂活性和再生流程参数。过滤器压差异常升高时需确认滤芯更换周期、前后压差表准确性。制氧主机纯度下降应检查分子筛性能、切换阀密封性和产品气排放阀状态。储氧设备泄漏处理需采用皂泡法定位漏点，根据缺陷类型选择补焊或更换。控制系统失灵应分级排查电源模块、I/O通道和通信线路等环节。管道振动过大需重新核算支撑间距、增设减震装置或调整流速参数。电气故障处理遵循从电源端到负载端的逐级测量原则。机械密封泄漏维修需检查动环磨损、弹簧弹性和密封面平整度。故障处理完成后需进行功能测试和参数验证，确保系统恢复正产运行状态。

4. 维护记录管理

设备档案需完整保存出厂资料、验收报告和改造记录等技术文件。运行日志应连续记载启停时间、运行参数和异常情况在日常数据。维护记录表设计需包含作业内容、使用材料和验收标准等要素。点检数据采用趋势图分析，识别设备性能的渐进性变化。故障登记应详细描述现象特征、处理措施和根本原因分析结果。备件台账管理需记录型号规格、库存数量和更换周期等关键信息。校验报告需存档法定机构出具的检定证书和校准记录。电子化管理系统应具备数据备份、权限管理和检索统计等功能。纸质记录保存需符合档案管理要求，确保字迹清晰和页面完整。记录分析结果应转化为维护计划优化的依据，形成持续改进的闭环管理。

三、制氧系统关键设备管理措施

1. 设备档案建立

制氧系统设备档案的建立需涵盖全生命周期管理所

需的技术文档。设备采购阶段应收集制造商提供的合格证、使用说明书和装配图纸等技术资料。安装调试阶段需记录基础验收报告、管道试压数据和控制系统参数设置。运行维护档案包含日常点检表、定期保养记录和故障维修报告等持续性文档。改造升级档案需保存变更申请、风险评估和验收测试等关键文件。特种设备档案需符合监管要求，包括设计文件、监检证书和定期检验报告。电子档案管理系统应支持多条件检索，确保历史数据可追溯。纸质档案需分类编号存放，建立借阅登记制度防止文档遗失。档案更新机制要求设备异动后及时补充相应记录，保持信息时效性。标准化档案模板可提升记录完整度，减少人为遗漏风险。档案管理人员需定期核查文档完整性，确保符合质量管理体系要求。

2. 人员培训安排

制氧系统操作人员的培训体系需分层级设计专业知识模块。新员工入职培训包含系统工艺流程、设备结构原理和安全规范等基础内容。在岗培训侧重实际操作技能，涵盖设备启停程序、参数调整方法和异常情况识别。专项技术培训针对控制系统编程、分析仪校准等专业技术岗位设置。安全培训重点讲解氧气特性、防火防爆措施和应急处理流程。培训方式采用理论授课、模拟操作和现场实操相结合的形式。考核机制包含笔试测试、操作评估和应急处置演练等综合评价。继续教育计划安排技术交流会、设备厂家培训和行业标准宣贯等提升课程。培训记录管理系统需记载课程内容、考核成绩和复训周期等完整信息。培训效果评估通过操作规范度、故障处理效率等指标进行验证。师资队伍建设包括内部讲师培养和外部专家资源库建立，保障培训质量。

3. 备件库存管理

制氧系统备件管理需建立科学分类体系指导库存策略。关键备件指直接影响系统运行的部件，如压缩机阀片、分子筛等，需保持安全库存。常规备件包括密封件、滤芯等损耗件，采用定量采购模式补充。战略备件针对长周期制造设备，如主机转子等，实施专项储备管理。备件编码系统需统一规格型号描述，避免采购误差。库存控制采用ABC分析法，对高价值备件实施重点管控。仓储环境需满足防潮、防尘要求，精密部件需恒温恒湿保存。领用审批流程需关联维修工单，实现备件去向可追溯。供应商管理需评估交货周期、质量稳定性等指标，建立合格供方名录。库存盘点采用循环盘点法，确保账物相符率达标。信息化管理系统应具备库存预警、寿命预测和采购建议等智能功能。

4. 设备更新规划

制氧设备更新决策需综合评估技术状态与经济寿命等因素。技术评估包含能效测试、精度检测和故障率统计等性能指标分析。生命周期成本计算需比较维护费用与更新投资的平衡点。技术迭代监测关注行业新型压缩机结构、智能控制系统的应用进展。更新方案制定需考虑分阶段实施可能，减少对生产运行的干扰。可行性研究需论证新设备与现有系统的兼容性、空间匹配度等实施条件。预算规划需统筹设备采购、安装调试和人员培训等全周期投入。过渡期管理需制定旧设备拆除与新设备调试的衔接方案。验收标准需明确性能参数、安全要求等具体指标。更新后评估需跟踪运行数据，验证技改目标的达成情况。技术档案需同步更新，确保资料与实物状态一致。

四、制氧系统关键设备维护与管理效果评估

1. 设备性能指标评估

制氧系统性能评估需建立多维度指标体系。产氧能力评估包含单位时间产气量和浓度稳定性等核心指标。能源效率分析关注压缩机比功率、系统综合能耗等经济性参数。设备可靠性通过平均无故障运行时间和故障间隔周期等数据进行评价。稳定性指标包含出口压力波动范围、露点温度偏差等工艺参数。维护性评估考量故障平均修复时间和预防性维护完成率等管理指标。安全性监控涉及氧浓度报警响应率、保护装置动作正确率等关键数据。环境适应性评价包括不同温湿度条件下的性能衰减程度。质量控制指标涵盖产品气杂质含量、颗粒物浓度等纯度参数。性能趋势分析采用统计过程控制方法，识别参数漂移规律。评估报告需提出性能改进方向，指导后续维护策略优化。

2. 维护成本效益分析

维护成本核算需区分预防性维护与纠正性维护两类支出。直接成本包含人工工时、备件消耗和外协服务等可量化投入。间接成本涵盖停机损失、能源浪费等衍生影响。成本分析模型需建立与设备可靠性的关联曲线，寻找最优投入点。价值工程方法可评估不同维护方案的成本效益比。生命周期成本法用于比较短期维修与长期更新的经济性差异。预算控制需分析历史数据波动规律，制定合理的费用预警阈值。成本优化方向包括延长备件使用寿命、提高自主维修比例等措施。效益评估需量化故障减少带来的生产保障价值，成本分析报告应提出资源再分配建议，实现有限预算的效益最大化。

3. 管理流程优化建议

制氧系统管理流程优化需基于PDCA循环持续改进。标准化建设需完善操作规程、点检路线和保养周期等基础规范。信息化升级建议引入设备管理系统，实现工单电子化和数据可视化。协同机制优化需加强生产、设备和安全部门的跨职能协作。决策支持建议开发绩效看板，集成关键指标辅助管理判断。知识管理需建立故障处理案例库，积累组织经验资产。响应速度提升可通过优化报警分级和应急指挥流程实现。质量控制建议引入防错机制，减少人为操作失误风险。资源配置优化需根据设备关键度调整维护力量分配。持续改进建议建立合理化建议制度，激发基层创新活力。流程再造需评估现有环节的必要性，消除冗余操作提升效率。

结束语

制氧系统设备的科学维护需要建立多维度管理体系，从技术标准制定到维护团队建设，每个环节都关系到系统的持续稳定运行。未来应进一步融合物联网技术，实现设备状态的智能诊断与预测性维护。维护规程需随设备迭代持续更新，保持与技术发展的同步。规范化的管理不仅能保障氧气供应安全，更能优化设备使用成本。通过系统化的维护实践，最终实现制氧设备可靠性、经济性与安全性的协同提升。

参考文献

- [1] 孔庆国, 范天骄, 杜蒙, 等. 制氧纯化系统污氮预热效果及节能分析[J]. 冶金能源, 2024, 43(02): 43-46.
- [2] 孙传庆, 李奇峰, 刘维玉, 等. 高原内燃机车制氧系统研究与应用[J]. 铁道机车与动车, 2023, (02): 32-34+6.
- [3] 赵东华. 宣钢2号制氧机分子筛仪控系统优化改造[J]. 天津冶金, 2022, (05): 54-56.
- [4] 龚喜凤. 20000m³/h制氧机氩气产量不达标的原因与措施[C]//中国金属学会. 第十三届中国钢铁年会论文集——9. 能源、环保与资源利用. 新疆八一钢铁股份有限公司能源中心, 2022: 82-86.
- [5] 高博, 辛庚嘉. VPSA制氧设备的检修体系化管理和优化[J]. 设备管理与维修, 2022, (12): 12-14.
- [6] 卢桂萍, 吴荣鑫, 蔡梓沁, 等. 基于物联网的PSA制氧机设备远程监控系统研究[J]. 机电工程技术, 2022, 51(05): 128-132.