

Practical Experience in Maintenance and Repair Management of Core Equipment for Power Systems in Aluminum Electrolysis Production

Yang Wang

Qingtongxia Aluminum Co., Ltd. Ningdong Aluminum Branch, Yinchuan, Ningxia, 750411, China

Abstract

Based on the core equipment of the power system in electrolytic aluminum production, a dual-dimensional operation and maintenance management system for optimization and improvement is constructed. The basic layer focuses on three major modules: ledger and full life cycle management, operation and maintenance standards and responsibility system, and personnel capability building. It builds a foundation for precise, standardized, and professional management. The optimization layer is centered on digital empowerment, and is complemented by cost risk control and continuous performance evaluation systems. Through real-time monitoring, intelligent diagnosis, and refined control measures, it solves the problems of low efficiency, high risks, and difficult cost control in traditional operation and maintenance. The system takes into account the characteristics of continuous operation, high energy consumption, and high safety of electrolytic aluminum, providing practical support for the stable and efficient operation of the electrolytic aluminum power system, and helping enterprises reduce costs, increase efficiency, and strengthen the safety production defense line.

Keywords

Aluminous electrolysis; Power system; Core equipment; Operation and maintenance inspection

面向电解铝生产的动力系统核心设备运维检修管理实践

王洋

青铜峡铝业股份有限公司宁东铝业分公司, 中国·宁夏 银川 750411

摘 要

围绕电解铝生产动力系统核心设备, 构建基础管理、优化提升双维度运维检修管理体系。基础层聚焦台账与全生命周期管理、运维标准与责任体系、人员能力建设三大模块, 搭建精准化、规范化、专业化管理根基。优化层以数字化赋能为核心, 配套成本风险管控与持续改进绩效评价体系, 通过实时监测、智能诊断、精细化管控等手段, 破解传统运维效率低、风险高、成本难控等痛点。体系兼顾电解铝连续运行、高能耗、高安全的特性, 能为电解铝动力系统稳定高效运行提供实操支撑, 助力企业降本增效、筑牢安全生产防线。

关键词

电解铝; 动力系统; 核心设备; 运维检修

1 引言

电解铝是铝生产的主要方式, 我国则是世界首屈一指的电解铝大国。根据中国有色金属工业协会发布的数据, 2024 年我国电解铝产量 4400 万吨, 同比增长 4.6%, 占全球总产量的 60% 左右^[1]。动力系统作为电解铝生产的核心系统, 承担电、水、气等能源的转换与输送任务, 核心设备包括压缩空气、天然气、蒸汽、给排水、供暖等设备。受连

续生产、高能耗特性影响, 传统运维存在台账混乱、标准不统一、人员能力不均、数字化程度低等问题, 易引发设备故障、生产中断及安全管理风险。对此, 需立足核心设备特性, 构建全方位基础管理体系, 夯实运维根基。

2 电解铝动力系统核心设备运维检修基础管理体系构建

2.1 核心设备台账与全生命周期管理机制

核心设备台账与全生命周期管理机制是电解铝动力系统运维检修的根基, 需围绕压缩空气、天然气、蒸汽、给排水、供暖五类核心设备, 构建清单精准化、台账全要素、更新常态化体系, 为运维决策提供数据支撑。

【作者简介】王洋(1997-), 男, 中国宁夏银川人, 助理工程师, 从事电解铝企业动力系统工艺优化、设备运维与能效提升技术研究。

结合电解铝连续运行、高能耗、高安全要求的特性，全面排查梳理关键设备清单，明确范围、优先级及核心信息：压缩空气系统聚焦空压机、零气耗干燥机等适配阳极生产以及电解槽气动控制的设备。天然气系统梳理调压器、泄漏检测仪等保障加热炉、焙烧炉运行的易燃易爆设备。蒸汽系统涵盖锅炉、换热器等满足原料预热、设备保温的设备。给排水系统排查给水泵、沉淀池等关联雨污水计量处理的设备。供暖系统梳理换热器、循环泵等兼顾车间保温与设备防冻的设备。清单同步标注设备型号、厂家、额定参数、备件信息及安全风险等级，形成分类清晰的基础清单^[2]。

以清单为依托搭建全生命周期台账，覆盖设备采购安装至报废处置全流程。台账包含基础信息、运行数据、故障记录、检修历史等核心模块，结合五类设备特性补充差异化数据项：天然气设备增录泄漏与防爆检测记录，蒸汽设备补充压力温度波动及防腐保温情况，给排水设备完善水质检测与泄漏修复数据，压缩空气设备新增露点监测与滤芯更换记录，供暖设备补充温控精度检测信息。采用数字化载体搭建台账，实现分类归档与关联查询，联动检修记录、备件消耗及全生命周期成本数据，为备件储备、成本管控及更新决策提供依据。建立动态更新与溯源流程，明确岗位责任，运行人员每日录入运行参数，检修人员24小时内填报作业信息，管理人员每周核对校准。针对生产连续性特点，建立紧急异常数据即时更新机制，数据修改留存痕迹，确保可溯源，采用云端与本地双重存储备份保障数据安全，为运维优化提供可靠支撑。

2.2 运维检修标准与责任体系建设

运维检修标准与责任体系建设旨在规范流程、明确权责，需结合五类设备特性与生产安全要求，构建规程适配、标准严苛、权责清晰体系。

分设备制定针对性运维规程，贴合运行原理与生产场景：压缩空气系统明确空压机启停、滤芯更换流程及露点调控标准，保障气动元件安全。天然气系统严格规范泄漏检测、防爆检查及调压器校准流程，防范易燃易爆风险。蒸汽系统聚焦锅炉压力温度调控、换热器清洗及管道防腐保温作业。给排水系统明确泵体运维、沉淀池清淤及管道泄漏排查周期。供暖系统制定换热器清洗、循环泵维护及管道防冻措施。规程融入生产连续性要求，合理规划作业时间，明确动火、高温等特殊作业安全规范。

制定量化检修质量标准与验收规范，覆盖全流程：压缩空气设备检修后压力误差 $\leq \pm 0.02\text{MPa}$ ，露点 $\leq -40^\circ\text{C}$ 。天然气设备泄漏检测合格率100%，防爆部件达标。蒸汽设备压力波动 \leq 额定值 $\pm 3\%$ ，管道无泄漏。给排水设备流量扬程达标，水质符合运行要求。供暖设备换热效率 \geq 设计值95%，温控误差 $\leq \pm 2^\circ\text{C}$ 。验收实行检修前准备核查、过程旁站监督、术后24小时试运行三步法，合格后方可投用。

明确权责划分，运维部门为核心主体，生产部门反馈

设备异常、配合检修作业，技术部门制定并优化规程，安全部门全程监督安全措施落实。建立跨部门协同机制，定期召开联席会议，搭建信息共享平台，同步设备运行、故障及检修数据。完善应急协同机制，快速处置天然气泄漏、蒸汽管道破裂等突发故障，形成分工明确、响应高效的协同格局，兼顾生产连续性与运维安全性。

2.3 运维检修人员能力建设

人员能力建设是保障检修质量、防范安全风险的关键。结合设备特性与安全要求，构建培训精准、考核严格、传承高效体系，打造专业化运维检修队伍。

聚焦五类设备核心技能，采用理论、实操、应急三位一体模式开展专项培训：压缩空气系统培训空压机故障诊断、滤芯更换及气动元件应急处置。天然气系统强化泄漏检测、防爆操作及泄漏应急演练。蒸汽系统培训锅炉调控、换热器清洗及高温作业防护。给排水系统聚焦泵体拆装、管道泄漏修复及水质检测。供暖系统开展换热器维护、管道防冻实操培训。

灵活采用厂家授课、内部骨干实操教学、应急演练等形式，结合技术更新需求，定期开展智能化设备操作、数字化台账应用等培训，强化高空、动火等特殊作业安全规范与警示教育。建立标准化技能考核与持证上岗体系，分岗位制定考核标准，采用理论、实操综合考评方式，由部门联合评分。实行严格的持证上岗制度，高危设备运维人员需持特种作业证并定期复审，考核结果与绩效直接挂钩，形成以考促学、以评促优机制。搭建经验传承平台，推行师徒结对加速新员工成长，建立典型故障案例库，收集整理处置方案与优化经验供全员参考。

3 电解铝动力系统核心设备运维检修实践优化

3.1 数字化赋能运维检修管理升级

在数字技术不断发展、广泛应用的今天，数字化转型成为各行各业高质量发展的必由之路。数字化赋能是电解铝动力系统运维检修升级的核心，需围绕核心设备特性，构建监测实时化、平台一体化、诊断智能化体系，破解传统运维效率低、预判不足等痛点。

设备在线监测系统聚焦核心运行参数，实现全时段多维度采集与预警：压缩空气系统部署压力、露点传感器，设定波动阈值保障气动控制需求。天然气系统加装高精度泄漏检测仪与压力变送器，联动防爆报警装置防范安全风险。蒸汽系统在关键节点部署压力、温度及腐蚀监测设备，预警超压、泄漏隐患。给排水系统安装水质在线检测仪与流量计，确保电解槽冷却用水达标。供暖系统通过温控与振动传感器，保障冬季车间保温与设备稳定。监测数据实时传输至中控平台，形成可视化界面，为运维决策提供精准支撑。

运维检修数字化平台整合多类数据，实现一体化管控。工单管理模块按设备特性自动生成工单，标注作业要求与安

全要点,完成后自动归档至全生命周期台账,形成闭环管理。数据统计模块自动汇总运行参数、故障频次等数据,生成分类核心报表,直观呈现运维效能。趋势分析模块基于历史数据构建模型,预判设备劣化与故障风险,为预防性运维提供依据。平台支持跨部门数据共享,打通运维、生产、技术、安全部门壁垒,适配生产协同需求。智能化诊断技术融合振动分析、油液分析、红外热成像手段,精准定位故障根源:振动分析识别旋转设备磨损,油液分析优化换油周期,红外热成像定位管道泄漏与保温缺陷。融合多维度数据构建智能模型,大幅缩短故障排查时间、提升检修精准度,契合电解铝连续生产的高要求。

3.2 运维检修成本与风险管控

成本与风险管控需构建成本精细化、安全全方位、风险闭环化体系,兼顾设备稳定运行与成本、安全目标。

成本精细化管理聚焦备件、工时、能耗三大核心:备件采用分级储备、按需采购模式,按故障频次划分三类备件,常用备件定额储备,关键与应急备件精准管控库存,通过集中采购降低成本,建立全流程台账杜绝浪费。工时管理依托数字化平台精准统计,优化人员配置与作业方案,缩短检修时长以减少停机损失。能耗优化结合设备特性,通过参数调整、保温强化、日常维护等手段,降低各类设备能耗成本。

安全风险防控针对五类设备隐患,建立全流程管控机制:压缩空气系统定期校验安全装置,规范启停操作。天然气系统严格执行动火许可,定期开展气密性测试与防爆检修。蒸汽系统强化锅炉管控与耐压测试,落实高温防护措施。给排水系统排查管道老化问题,加强水质消毒管控。供暖系统提前检查保温与温控装置,制定完善防冻预案。建立风险分级管控与隐患排查双重机制,常态化辨识风险、排查隐患,闭环整改并强化安全培训演练^[1]。

依托运行数据与历史记录构建故障预判模型,提前预判故障概率与影响范围,储备应急资源。故障发生后快速调配资源处置,详细记录形成案例,复盘深挖根源,针对不同成因制定改进措施并跟踪验证,形成预判、处置、复盘、改进闭环,持续降低故障率。

3.3 持续改进与绩效评价体系

持续改进与绩效评价体系是运维水平稳步提升的重要保障,需构建指标科学、复盘高效、对标精准体系,推动运维效能迭代优化。

绩效指标按设备特性制定差异化量化标准,包括设备运行、检修质量、成本控制、安全管理四大维度:设备运行指标中,核心系统设备完好率 $\geq 98\%$ 、故障停机率 $\leq 1\%$,辅助系统完好率 $\geq 95\%$ 、故障停机率 $\leq 2\%$ 。检修质量指标要求各类设备检修合格率 100% ,返工率 $\leq 3\%$ 、故障复发率 $\leq 2\%$ 。成本控制指标按设备类型设定费用限额,优化备件周转率与工时利用率。安全管理指标实现安全事故零发生,隐患整改率 100% 、违规作业率 $\leq 1\%$ 。指标结合生产实际动态调整,兼顾科学性与挑战性,充分发挥导向作用。

建立常态化复盘与整改机制,按不同频次推进优化。每日复盘解决流程衔接、人员调配等即时问题。每周聚焦故障数据、成本消耗情况,分析高发故障与流程瓶颈。每月对照绩效指标考核成效,形成专项报告并明确改进任务。每年结合行业趋势与企业发展规划,全面评估管理体系适用性。问题整改遵循责任到人、限期落实、跟踪验证原则,建立台账闭环管理,杜绝同类问题重复发生。

对标行业先进优化管理模式,聚焦数字化运维、成本管控等核心领域,针对性学习标杆企业经验,转化为适配自身生产场景的实施措施。建立对标长效机制,跟踪行业动态持续优化,同时搭建合理化建议平台,鼓励全员参与运维改进,激发团队积极性,为电解铝动力系统稳定高效运行提供坚实保障。

4 结语

本文构建的运维检修管理体系,实现了基础管理与优化提升的深度融合,精准适配电解铝动力系统的运行需求。基础管理体系筑牢规范运营根基,优化路径通过数字化、精细化手段突破传统瓶颈,形成规范、赋能、管控、提升的闭环机制,有效提升了设备完好率、降低了故障停机率与运维成本。该体系兼顾安全性、实用性与创新性,可为同类电解铝企业提供借鉴。

参考文献

- [1] 2024年我国十种有色金属产量超7900万吨[EB/OL].https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202501/content_7000281.htm.
- [2] 侯永瀚.电解铝生产企业设备管理的现状及发展趋势[J].科技资讯,2022(13):82-84.
- [3] 唐秀茂.探析电解铝生产设备的智能化操控系统[J].低碳世界,2018(11):286-287.