

电解铝设备管理及维修探析

尹 浩

青铜峡铝业股份有限公司宁东铝业分公司 宁夏银川 756400

摘 要：电解铝生产中，传统设备管理与维修模式存在故障预警滞后、资源调配低效、维护成本高企等问题，难以适配设备连续高负荷运行需求。本文从设备核心运行特性、常见故障类型、管理关键策略、维修体系构建四大维度，明确电解槽、导电系统等关键设备的管控重点，通过全生命周期管控、智能状态监测、标准化维修流程等手段解决设备运行核心痛点，同时为企业降低停机损失、控制运维成本提供支撑，助力电解铝行业实现设备高效管理，保障生产系统稳定持续运转。

关键词：电解铝设备；设备管理；故障分析；维修体系

引言

电解铝产业在工业体系中占据核心地位，其生产效率与产品质量直接依赖设备稳定运行。电解铝设备涵盖电解槽、整流机组、供料系统等，各环节紧密联动，任一设备故障都可能导致生产中断，造成显著经济损失。随着电解铝设备自动化程度提升与运行环境复杂化，设备管理与维修面临更高要求。深入研究电解铝设备的运行特性、故障成因，制定科学的管理策略与维修体系，对保障生产连续性、控制成本、提升企业竞争力具有重要意义。

一、电解铝设备的核心运行特性

（一）生产流程的连续性特征

电解铝生产流程需持续运转，从原料预处理的破碎机、研磨机，到电解槽、铸造机等核心设备，各环节形成紧密联动的整体。前序设备输送的氧化铝原料若中断，会直接导致电解槽内原料供应不足，后续铸造环节也将因缺乏熔融铝液而停滞^[1]。生产中断不仅会造成当期产量下降，还会破坏电解槽内的电解质平衡，重启时需重新调整槽电压、温度等参数，增加电能消耗与时间成本，更可能因温度骤变损伤电解槽内衬，缩短设备使用寿命。

（二）技术应用的自动化属性

电解铝设备广泛应用智能控制系统，该系统可实时采集电解槽温度、电流密度、电解质水平等运行数据，通过算法分析判断设备状态。当电解槽温度异常升高时，系统自动调节冷却装置的运行功率，避免温度超标影响生产；在原料输送环节，系统根据电解槽消耗速率精准控制加料量，减少原料浪费。智能控制系统与设备运行

的协同，能减少人工干预的误差，提升参数控制精度，使设备始终处于最优运行状态，进而提高生产效率与产品质量稳定性。

（三）资产属性的高投入特点

电解铝设备购置成本高昂，核心设备电解槽单台造价高，配套的整流机组、除尘系统等也需大量资金投入。设备停机时，不仅无法产生经济效益，还需承担固定成本支出，如设备折旧、场地租赁费用。同时，停机导致的订单交付延迟可能引发违约金赔偿，长期停机更会失去市场份额。此外，重启设备需投入额外的电能与人力成本，停机时间越长，经济损失越大，凸显设备稳定运行对控制成本的重要性。

（四）运行环境的特殊性

电解铝设备运行环境特殊，电解槽工作时内部温度可达900℃以上，高温会加速设备金属部件的氧化腐蚀，如电极棒表面易形成氧化层，增加导电电阻，降低电能利用效率。生产过程中需维持高电流运行，高电流会产生强磁场，长期作用下设备线路绝缘层易老化破损，增加短路风险。此外，高温与高电流共同作用，会加剧电解槽内衬材料的侵蚀，导致内衬变薄，缩短设备检修周期，增加维护成本与停机频次。

二、电解铝设备常见故障类型与成因分析

（一）电解槽相关故障

漏炉多因电解槽内衬材料受损引发，长期高温环境下内衬耐火砖易出现开裂，若日常巡检未及时发现裂缝或维护不及时，熔融电解质会从裂缝缓慢渗透，突破外壳形成漏炉，渗漏的电解质还会腐蚀地面基础设施，增加后续修复难度^[2]。阴极破损常与原料杂质相关，氧化

铝中含有的铁、硅等杂质会在电解过程中持续沉积于阴极表面，形成导电通道，加速阴极炭块腐蚀，导致阴极结构完整性破坏，阴极破损还会使电解槽电流分布不均，进一步加剧局部过热问题。漏炉与阴极破损不仅会造成电解质与铝液流失，影响当期产量，还会损伤周边管道、传感器等设备，迫使生产中中断，增加维修成本与重启时的参数调试难度。

（二）导电系统故障

母线打火源于母线连接部位清洁度不足，生产过程中产生的粉尘、电解质挥发物持续附着在母线接头处，逐渐形成绝缘层，导致电流传输受阻，局部电阻升高产生电弧，引发打火现象，频繁打火会使母线接头金属熔化，造成永久性结构损伤。接触不良多因安装工艺缺陷或长期热胀冷缩影响，母线接头螺栓松动使接触面积减小，电流通过时产生局部过热，进一步加剧接头氧化，形成恶性循环，导致导电效率下降，增加电能损耗，严重时还会烧毁母线部件，引发整条生产线生产停滞，恢复生产需更换大量母线配件，延长停机时间。

（三）控制系统故障

槽控机异常常与硬件老化或软件程序故障相关，长期高电磁干扰环境会导致槽控机内部电路板元件损坏，影响信号传输稳定性，部分元件损坏还会导致槽控机无法接收设备反馈信号，陷入失控状态；软件程序若未及时更新或适配新设备，可能出现算法偏差，无法精准响应设备运行需求。参数偏差多因传感器故障或校准不及时，温度、电流等传感器受高温腐蚀与粉尘覆盖影响，采集数据准确性下降，导致控制系统依据错误数据调整设备参数，引发电解槽温度异常、电解质水平失衡等问题，影响产品纯度与质量稳定性，不合格产品还需额外处理，增加生产成本。

（四）辅助设备故障

供料系统故障多因设备堵塞或动力部件失效，氧化铝原料在储存过程中若防潮措施不到位，受潮结块后易堵塞供料管道，导致原料输送中断，原料断供会使电解槽内电解质成分失衡，需重新调配才能恢复生产；供料泵、电机等动力部件长期高负荷运行，轴承磨损、线圈老化未及时更换，会引发设备停机，影响电解槽原料持续供应。冷却系统故障常与管道结垢或水泵故障相关，冷却水中的钙镁离子等杂质长期沉积形成水垢，覆盖管道内壁降低热交换效率，无法有效控制电解槽温度，高温环境还会加速冷却系统橡胶部件老化；水泵密封件老化漏水或电机线圈烧毁，会导致冷却水量不足，加剧设

备高温损耗，诱发电解槽内衬加速老化等连锁故障。

三、电解铝设备管理的关键策略

（一）设备全生命周期管理

设备全生命周期管理需覆盖采购至报废的完整流程。采购阶段需结合生产需求与设备性能参数，筛选适配的电解槽、整流机组等设备，优先选择能耗低、故障率低的型号，同时评估供应商售后服务能力，要求提供定期技术支持与维修指导，确保后期维护支持^[9]。安装环节需严格遵循技术规范，对电解槽内衬砌筑、母线连接等关键工序进行质量把控，每道工序完成后需经专业检测确认合格，避免因安装偏差埋下故障隐患。运行阶段建立设备台账，记录运行参数、维护记录与故障情况，定期开展性能评估，对比设备初始参数与当前状态；报废阶段需制定合规处置方案，对设备金属部件进行回收利用，对有害物质妥善处理，减少环境影响，形成全流程闭环管控，最大化设备使用价值。

（二）日常巡检与状态监测

日常巡检需制定标准化流程，明确不同设备的巡检频次与检查要点，巡检人员按频次检查电解槽温度、母线接头状态、供料管道通畅性等关键部位，通过目视观察、手触检测等方式排查异常，检查结果需详细记录于巡检日志，如发现电解槽外壳局部过热、母线接头有打火痕迹，需及时记录并上报。状态监测需结合智能技术，在电解槽安装温度传感器、电流传感器，在冷却系统加装流量监测装置，实时采集运行数据并传输至管理平台，平台通过数据分析识别设备异常趋势，如电解槽温度缓慢升高、冷却水流速下降，提前发出预警信号并推送至相关负责人，实现从“事后维修”向“事前预警”的转变，减少突发故障风险。

（三）备件管理优化

备件管理需建立科学的库存模型，根据设备故障频率与备件更换周期，确定电解槽内衬砖、母线接头、传感器等关键备件的安全库存，避免库存过多占用资金或库存不足导致维修延误。同时搭建备件信息管理系统，记录备件采购时间、规格型号、使用位置等信息，实现备件追溯与需求预测，结合生产计划调整库存水平，如临近电解槽大修期，提前补充内衬砖、阴极炭块等备件。此外，可与备件供应商建立长期合作关系，签订应急供货协议，缩短紧急备件采购周期，在保障供应的同时，通过批量采购、优化存储方式降低库存成本。

（四）人员管理与技能提升

人员管理需明确岗位职责，划分设备巡检、维护、

维修等岗位的工作范围，制定绩效考核标准，将设备故障率、维护及时性等指标纳入考核，激发人员工作积极性。技能提升需构建分层培训体系，针对新员工开展设备基础知识培训，包括电解铝设备结构、运行原理等内容；针对资深人员开展专项技能培训，如智能监测系统操作、电解槽故障诊断等，定期组织技能考核与实操演练，检验培训效果。鼓励人员参与行业技术交流，学习先进管理经验与维修技术，培养兼具理论知识与实操能力的专业团队，为设备稳定运行提供人力支撑。

四、电解铝设备维修体系的构建

(一) 预防维修体系

预防维修体系需结合电解铝设备高负荷、高温运行的特性制定计划。针对电解槽，根据内衬磨损规律与高温腐蚀速率，设定定期检查周期，重点检测内衬厚度、阴极炭块完整性，每次检测后记录数据形成趋势曲线，避免因内衬变薄引发漏炉；针对导电母线，依据接头氧化程度与电流传输数据，安排定期清洁与紧固作业，清洁后需测试接头导电电阻，防止接触不良导致打火^[4]。同时参考设备运行台账中的故障记录，对整流机组、冷却水泵等易损设备，按运行时长设定润滑油更换、部件检测的固定周期，将维护节点与设备性能衰减规律精准匹配，通过提前干预减少突发故障，延长设备稳定运行周期。

(二) 故障维修优化

故障诊断需建立分层排查机制，先通过智能监测平台分析异常数据，如电解槽温度骤升时，优先排查冷却系统流量与加热元件状态，同步调取历史温度数据对比异常幅度；母线导电效率下降时，依次检查接头清洁度、螺栓紧固度与母线材质损耗，使用专用仪器检测导电性能。维修流程需制定标准化步骤，如处理漏炉故障时，明确先断电降温、再清理渗漏电解质、最后修复内衬的操作顺序，降温过程需控制速率避免温差过大损伤设备；维修供料管道堵塞时，规定先停止供料、再拆解疏通、最后测试通畅性的流程，同时统一维修工具规格与操作规范，避免因操作差异导致维修质量不稳定，确保故障处理高效且符合设备运行要求。

(三) 应急维修机制

应急维修机制需明确突发故障的响应流程，接到故障警报后，第一时间通过调度平台指派对应专业维修人员抵达现场，如电解槽漏炉需立即调动具备内衬修复经

验的团队，携带专用修补材料与工具；母线短路需安排导电系统维修人员，同步准备备用母线部件。同时建立应急资源储备库，提前储备电解槽内衬砖、母线接头、应急冷却泵等关键备件，定期检查备件完好度与有效期，避免因备件缺失延误维修；制定跨区域资源调配方案，当单一车间维修人员不足时，可通过内部通讯系统快速协调其他车间技术人员支援，确保突发故障在最短时间内得到处理，减少生产中断时长，降低停机经济损失。

(四) 维修技术升级

维修技术升级需聚焦电解铝设备维修难点引入先进手段。针对电解槽内衬检测，采用超声波探伤技术替代传统人工敲击检测，更精准识别内衬内部裂缝，生成可视化检测报告便于分析损伤程度；针对母线接头维护，引入激光清洁技术，高效去除接头表面氧化层，清洁后无需二次处理即可恢复导电性能，提升清洁效果与导电效率。同时探索数字化维修工具应用，如借助AR技术模拟电解槽内部结构，辅助维修人员定位故障位置，叠加显示维修操作指引；利用设备运行大数据构建维修决策模型，通过分析历史故障数据与维护效果，优化维修方案，实现从“经验型维修”向“数据驱动型维修”转变，提升维修精准度与设备恢复效率。

结束语

电解铝设备管理与维修是保障生产稳定、提升效益的核心环节。通过实施全生命周期管理、优化日常巡检与备件管理、提升人员技能等管理策略，以及构建预防、故障、应急维修体系并升级维修技术，可有效降低设备故障率，延长设备使用寿命，提高生产效率与产品质量。未来，随着技术发展，需持续探索创新管理与维修模式，推动电解铝行业高质量发展。

参考文献

- [1] 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, 20(13): 82-84.
- [2] 杨聪富. 电解铝设备管理及维修探讨[J]. 新疆有色金属, 2022, 45(02): 108-110.
- [3] 丁磊. 电解铝生产中电气设备管理策略研究[J]. 化工设计通讯, 2024, 50(11): 161-163.
- [4] 马文魁. 电解铝铸造设备预防性维护策略优化[J]. 智库时代, 2025(19): 265-267.