

电解铝生产工艺智能控制技术应用

马耀奎

国家电投集团铝电投资有限公司(宁夏能源铝业)青铜峡铝业分公司 宁夏 青铜峡 751603

摘要: 电解铝生产工艺智能控制以精密技术体系为基础,在数据采集、处理及智能算法建模协同下,实现对核心生产环节精准调控。在电解槽启动、正常电解、出铝作业等环节,智能控制发挥关键作用,提升生产稳定性与效率。同时,在能耗优化与设备保护方面成效显著,可降低能耗、预警设备故障。为保障智能控制技术应用,需构建技术、管理保障体系,并实现系统集成与协同,以适应不断发展生产需求,推动电解铝生产智能化升级。

关键词: 电解铝; 生产工艺; 智能控制技术; 应用

引言: 在电解铝生产领域,传统控制方式面临诸多挑战,难以满足现代生产对高效、稳定、节能及安全的要求。随着科技飞速发展,智能控制技术应运而生,为电解铝生产工艺带来革新契机。其构建于精密高效的技术体系之上,遵循“数据感知-分析决策-执行调控”的闭环流程,依托多维度数据采集、智能算法建模与闭环控制体系协同运作。在核心生产环节、能耗优化、设备保护等方面发挥关键作用,且有完善的保障体系支撑,推动电解铝生产向智能化迈进。

1 电解铝生产工艺智能控制的技术基础

电解铝生产工艺的智能控制构建于一套精密且高效的技术体系之上,其核心逻辑遵循“数据感知-分析决策-执行调控”的闭环流程,这一流程的实现依赖于多维度数据采集、智能算法建模以及闭环控制体系的协同运作。(1)在数据采集环节,高精度传感设备被广泛部署于电解铝生产的关键部位。这些传感器如同敏锐的“神经末梢”,能够实时、精准地捕捉电解槽温度这一反映电解反应热平衡状态的关键参数,精确测量电解质成分以了解电解质的物理化学性质,实时监测电流密度与槽电压以掌握电解过程的能量输入与输出情况。同时,对于母线位置、阳极消耗速度等设备运行数据也进行细致采集,这些数据全面且精准地反映了电解铝生产的实际状况,为后续的智能控制提供了坚实的数据支撑。(2)数据处理阶段是确保数据质量的关键环节。借助边缘计算技术,能够在数据产生的源头进行初步处理,减少数据传输的延迟与带宽占用。同时,运用数据清洗技术,对采集到的海量数据进行筛选与过滤,剔除因设备故障、环境干扰等因素产生的异常数据,提取出具有代表性和有效性的特征信息,从而保证数据的可靠性与时效性,为后续的智能分析提供高质量的数据基础。(3)智能算法层面则是电解铝生产工艺智能控制的核心大脑。

通过融合 PID 控制、模糊控制、神经网络等多种先进技术,构建出工艺参数与生产指标之间的复杂映射模型。这些模型能够深入挖掘数据背后的潜在规律,实现对生产过程的动态预测与自适应调控。相较于传统控制方法,智能算法能够有效解决参数耦合、非线性干扰等难题,使电解铝生产过程更加稳定、高效,为提升产品质量、降低能耗与成本提供了强有力的技术保障^[1]。

2 智能控制在电解铝核心生产环节的应用

2.1 电解槽启动阶段的智能控制

电解槽启动阶段是电解铝生产的关键起始点,其核心任务在于实现电解槽内衬温度梯度的科学分布和上升。智能控制技术在这一阶段发挥着至关重要的作用。它借助高精度传感器,对启动过程中的槽温、阳极电流分布等关键参数进行实时、精准监测。基于预先设定的启动曲线和先进的智能算法,系统能够自动且精准地调节阳极电流分布、供电曲线等关键操作参数。在电流升速节奏的把控上,智能控制可依据实时监测数据动态调整,有效避免因局部升温过快导致的过热现象。同时,结合上传电解质成分检测数据及槽温等测量数据,智能系统能精准判断氟化盐的添加时机与精确用量,确保电解质初晶温度和黏度始终处于最优区间,为后续电解槽进入正常稳定的生产运行状态筑牢坚实基础。整个启动过程无需人工频繁干预,依靠参数实时反馈与算法自适应调整,极大提升了启动阶段的稳定性与一致性^[2]。

2.2 正常电解运行的智能调控

正常电解运行阶段是电解铝生产的核心,智能控制技术重点实现对槽电压、电极位置、电解质成分等关键参数的精准控制与动态优化。槽电压控制方面,通过融合模糊控制与 PID 控制技术,实时补偿电网波动、阳极消耗等因素带来的干扰,将槽电压稳定在最优区间,既保证电解反应的充分进行,又降低无用功耗。阳极位

置控制则基于阳极电流分布检测数据,通过神经网络算法预测电极损耗趋势,自动调节电极升降机构,维持阳极底掌与电解质界面的稳定距离,避免出现阳极效应或压槽等异常情况。电解质成分调控通过在线检测数据与成分预测模型的结合,智能计算氟化铝、氟化钙等添加剂的需求量,实现按需添加,确保电解质的理化性能稳定,提升电流效率。

2.3 出铝作业的智能辅助控制

出铝作业作为电解铝生产流程中的关键环节,其智能控制的核心聚焦于出铝量的精准把控以及作业过程全方位的安全保障。(1)在出铝量控制方面,智能控制技术借助高精度的称重传感器,对出铝量进行实时、精确监测。同时,结合先进的电解槽内铝液液位预测模型,该模型综合考量电解槽的历史运行数据、当前工艺参数等多方面因素,能够自动且精准地判断出铝终点。如此一来,可有效避免因出铝过量导致电解槽热平衡被破坏,或出铝不足影响生产效率等问题,确保电解槽始终处于稳定的运行状态。(2)在安全保障上,系统实时监测出铝过程中的槽电压、铝液流速等关键参数。一旦这些参数超出预设的安全阈值,智能系统会立即触发出铝压缩空气电磁阀关闭指令或发出警报,及时防范漏铝、飞溅等安全风险。此外,出铝作业产生的数据会实时同步至生产控制系统,为后续电解参数的动态调整提供有力依据,实现出铝作业与正常电解运行的无缝、高效衔接。

3 智能控制技术在能耗优化与设备保护中的应用

3.1 能耗智能优化控制

智能控制技术在电解铝能耗优化方面展现出强大效能。(1)它借助先进算法构建能耗与工艺参数间的智能模型,精准识别出槽电压、电流密度、电解质温度等影响能耗的关键因素,进而实施针对性节能调控。基于电解槽实时运行数据与海量历史能耗数据,运用机器学习算法深度挖掘最优工艺参数组合,动态调整上述关键参数,在确保铝液产量稳定、质量达标的前提下,有效降低单位产品能耗。(2)对于电解生产中不可避免的无功功率损耗,智能无功补偿控制技术大显身手。它能实时监测电网功率因数,依据监测结果自动精准调节补偿装置,大幅提升电能利用效率,显著减少电网损耗。此外,针对循环水系统、排烟净化系统等辅助设备,通过智能控制根据主生产系统运行负荷,动态优化其运行参数,实现全流程能耗的协同优化,全方位降低电解铝生产能耗^[3]。

3.2 设备运行状态智能监测与预警

智能控制技术在电解铝设备运行状态监测与预警领

域发挥着关键作用。(1)它借助在电解槽、电极、供电设备等核心部件上精心部署的振动传感器、温度传感器、电流传感器等多样化监测设备,能够实时、精准地采集设备运行数据,并以此为基础构建设备健康状态评估模型。(2)该模型通过对设备运行参数的动态变化趋势进行深度分析,可敏锐识别出轴承磨损、电极裂纹、绝缘老化等潜在故障隐患。一旦发现异常,便会提前发出预警信号,为设备维护人员提供精准的维护依据,有效避免因突发故障引发的生产中断,保障生产的连续性与稳定性。例如,通过细致监测阳极导杆电流传导数据,能智能判断阳极是否存在脱极、断导杆等问题;分析电解槽槽壳的温度分布,可预警槽体变形或内衬侵蚀等风险。此外,智能控制系统还会详细记录设备运行数据与故障信息,为设备的全生命周期管理提供坚实的数据支撑。

3.3 阳极更换与阴极保护的智能控制

在电解铝生产进程中,阳极更换与阴极保护是保障生产稳定、高效运行的关键环节,智能控制技术为其带来了革新性提升。(1)阳极更换作为常规操作,智能控制技术凭借精准定位与参数协同实现效率与安全双提升。基于科学构建的阳极消耗模型以及实时检测数据,系统能智能预测阳极更换的精准时机,并自动规划出最优的更换顺序。借助先进的视觉识别与定位技术,可引导机械臂精确无误地完成阳极的拆卸与安装工作,确保阳极安装位置精度,最大程度减少对电解槽运行状态的干扰,保障生产连续性。(2)在阴极保护方面,通过实时监测阴极电流分布与槽底温度数据,智能系统能精准判断阴极炭块的侵蚀程度,结合电解参数的动态调整,有效避免局部电流过度集中引发的阴极损坏。同时,通过精准控制电解质成分与温度,减少阴极沉淀的产生,从而延长阴极使用寿命,降低生产成本。

4 智能控制技术应用的保障体系

4.1 技术保障体系

智能控制技术在电解铝生产中的应用,构建坚实的技术保障体系是关键,其核心聚焦于传感器、控制算法、执行机构等关键环节的可靠性与适配性。(1)在传感器方面,鉴于电解铝生产环境高温、强腐蚀且存在强电磁干扰的恶劣特性,传感器选型必须严格适配。要选用具备耐高温、抗腐蚀、抗电磁干扰能力的专业传感器,以此保障数据采集的精准性与稳定性,为后续智能控制提供可靠的数据基础。(2)控制算法需紧密结合电解铝具体生产工艺特点进行定制化优化。通过深入分析生产流程中的复杂工况,使算法具备更强的适应能力,

能够精准应对各种生产变化。(3) 执行机构作为调控指令的最终执行者, 需具备高精度与高响应速度的特性, 确保调控指令能够及时、准确地执行。(4) 还应建立完善的技术迭代机制, 积极吸收工业互联网、人工智能等前沿领域的新技术成果, 持续优化智能控制模型与系统功能, 以适应不断发展的生产需求^[4]。

4.2 管理保障措施

在智能控制技术于电解铝生产的应用中, 管理保障是确保其充分发挥效能的重要支撑, 重点在于构建完善的智能控制系统运维机制与人员培训体系。(1) 要组建一支专业精湛的运维团队, 团队成员需具备多领域专业知识与丰富实践经验。他们负责定期对传感器进行精准校准, 保证数据采集的准确性; 依据生产实际情况, 对算法参数进行优化调整, 提升系统对复杂工况的适应能力; 及时排查并解决系统故障, 确保智能控制系统始终保持稳定、高效运行状态。(2) 强化操作人员与技术人员的培训工作至关重要。通过系统培训, 让他们深入掌握智能控制系统的操作逻辑、数据解读方法以及基本故障处理技能, 实现人机之间的默契协同, 提升整体作业效率。(3) 还需建立严格的数据安全管理规范, 从数据采集、传输到存储的各个环节, 加强安全防护措施, 防止数据泄露或遭受恶意篡改, 全方位保障生产过程的安全性与稳定性。

4.3 系统集成与协同保障

智能控制在电解铝生产中的应用并非孤立运作, 而是要与多个关键系统深度集成, 达成数据互通与功能协同, 以此构建高效的生产管控格局。(1) 具体而言, 智能控制系统需与电解铝生产的制造执行系统(MES)、能源管理系统、设备管理系统等实现深度融合。通过这种集成, 将智能控制所采集到的数据与生产计划安排、能源消耗动态、设备维护状况等信息有机整

合, 形成覆盖全流程的生产管控体系, 为生产决策提供全面且精准的支持。例如, 智能控制系统获取的能耗数据可实时同步至能源管理系统, 为能耗考核提供详实依据, 助力制定科学合理的节能方案; 设备运行预警信息能及时推送至设备管理系统, 自动触发维护工单生成, 确保设备及时得到维护。(2) 要高度重视智能控制系统与现场生产设备的兼容性, 借助标准化接口与协议, 保障控制指令能够无缝传输与精准执行, 从而确保整个生产流程的连续性与稳定性^[5]。

结束语

电解铝生产工艺智能控制依托坚实的技术基础, 在核心生产环节、能耗优化、设备保护等多方面发挥关键作用, 显著提升了生产稳定性、产品质量与能源利用效率, 降低了生产成本与安全风险。而完善的技术、管理保障措施以及系统集成与协同保障, 为智能控制技术的有效应用筑牢根基。未来, 随着工业互联网、人工智能等前沿技术的持续发展, 智能控制技术将不断迭代升级, 进一步深度融入电解铝生产各环节, 推动行业向智能化、绿色化、高效化方向大步迈进, 助力电解铝产业在全球竞争中占据更有利地位, 实现可持续发展。

参考文献

- [1] 罗发新. 电解铝出铝全流程智能控制关键技术要点[J]. 电脑校园, 2020(4): 1121-1122.
- [2] 王周杰. 电解铝工业质量管理的问题与对策[J]. 世界有色金属, 2020, 6(03): 18+20.
- [3] 赵成. 电解铝生产工艺的优化研究[J]. 现代盐化工, 2022, 49(06): 46-48.
- [4] 徐谋. 电解铝生产工艺的优化方式分析[J]. 世界有色金属, 2021(17): 7-8.
- [5] 冯冰. 电解铝生产工艺的优化分析[J]. 世界有色金属, 2021(15): 124-125.