

# 电解铝出铝全流程智能控制关键技术研究

王永飞<sup>1</sup> 徐超<sup>2</sup>

1. 中储恒科物联网系统有限公司 河南 郑州 450000

2. 云南云铝涌鑫铝业有限公司 云南 红河哈尼族彝族自治州 654000

**摘要:** 随着铝工业的快速发展,电解铝出铝流程的智能化控制成为提高生产效率、降低成本、保障产品质量的关键。本文深入研究了电解铝出铝全流程智能控制的关键技术,包括电解槽状态监测与预测、出铝量精准控制、出铝作业自动化与优化调度等方面。通过对这些关键技术的详细阐述与分析,提出了相应的技术解决方案与实施策略,旨在为电解铝企业实现智能化生产提供理论依据与技术支持,推动铝工业向高效、智能、可持续方向发展。

**关键词:** 电解铝;出铝全流程;智能控制关键技术

引言:电解铝作为重要的基础原材料产业,其生产效率与产品质量直接关系到下游产业链的稳定与发展。然而,传统电解铝出铝过程存在自动化程度低、控制精度差、能耗高等问题。随着智能化技术的不断发展,将智能控制技术应用于电解铝出铝全流程,成为提升生产效率、降低能耗、提高产品质量的重要途径。本文旨在研究电解铝出铝全流程智能控制的关键技术,为实现电解铝行业的智能化转型提供理论支撑与实践指导。

## 1 电解铝出铝全流程概述

电解铝出铝是一个精细且系统的流程,它涵盖了从铝液化学成分的配比、电解铝出铝等全过程,确保铝产品质量的同时,也需要优化生产效率。此流程核心在于出铝与配铝两大环节的紧密配合与高效执行。在电解槽中,铝液随着电解反应的进行逐渐在炉膛底部积聚。为确保生产的连续性和铝液的纯净度,需有计划地进行出铝操作。这一过程通常由车间管理层根据电解槽的生产能力制定详细的出铝计划,并指派专业的出铝工人执行。出铝时,大多使用多功能天车配备真空抬包,按照计划量将槽内铝液吸出,随后通过专用的抬包车辆将铝液运输到铸造车间或下游加工单位,为后续的铝产品制造提供原料。配铝环节则是根据电解槽内铝液的其他化学元素含量、客户订单需求及生产标准,对铝液进行科学合理的成分调配<sup>[1]</sup>。此过程要求严格把控铝液中的其他化学元素的比例,通过精细的配比作业,不仅提升铝产品的品质等级,还充分考虑生产的经济性。为实现这一目标,配铝工艺需细致规划铝液各化学元素的配比,既要确保铝液成分符合生产要求,又要巧妙利用抬包的容量,避免空间浪费,提高单次运输量,从而减少出铝次数,提升整体作业效率。

## 2 电解铝出铝全流程智能控制关键技术

### 2.1 数据采集与处理技术

(1) 数据采集系统的构建。为了实现电解铝出铝全流程的智能控制,需要构建一个完善的数据采集系统。该系统应包括感知传感器、数据传输设备、数据存储设备等。感知传感器用于实时采集电解槽的温度、液位、电流、电压、实时出铝量、计划出铝量等参数。数据传输设备将采集到的数据利用无线、光纤等通讯实时传输到控制系统,数据存储设备对采集到的数据进行存储和管理,以便后续的分析 and 处理。(2) 数据相关性分析。对采集到的出铝工艺数据进行分析,找出影响出铝量和铝液质量的关键因素。例如,分析电解槽的温度、两水平、电流、电压等参数与出铝量的关系,以及不同电解槽之间的铝液成分差异与配铝方案的关系。通过数据相关性分析,可以为出铝量预测和配铝优化提供依据。

### 2.2 优化算法与决策支持系统

在电解铝行业中,优化算法与决策支持系统正逐渐成为推动出铝全流程智能控制的核心力量。面对电解槽出铝过程中复杂多变的工况,传统的人工经验与判断已难以满足高效、精准的生产需求。因此,借助先进的信息技术与智能化手段,构建一套完善的智能控制系统显得尤为重要。优化算法作为这一系统的核心组件,通过深入分析电解槽内铝液的温度、两水平、成分等关键参数,以及电解槽的运行状态和历史数据,能够建立起精准的预测模型。这些模型,如神经网络模型、支持向量机模型、遗传算法等,能够模拟电解槽出铝的复杂过程,对出铝量、出铝时间等关键参数进行精细化计算与优化,从而得出最优的生产方案。而决策支持系统,不仅能够实时接收并处理来自电解槽的各类数据,还能根据优化算法的计算结果,自动生成生产指令和调整方

案。这些指令和方案，经过系统的智能判断与决策，能够迅速传达给生产现场，实现对生产过程的自动化、精准化控制。

### 2.3 配铝工艺

在铝电解生产的精细管理中，配铝工艺不仅关乎铝液的品质，还直接影响到企业的生产效率和经济效益。由于原料中各种化学成分含量不一，如何在电解过程中有效控制和调配电解铝的化学成分，成为配铝工艺的核心挑战。配铝工作并非简单地将铝液从电解槽中吸出并混合，而是需要根据每个电解槽内铝液的杂质情况和出铝任务的具体要求，进行精确的计算和规划。出铝工在接到任务后，会依据槽号和出铝量，使用真空抬包将铝液从槽中吸出。为了提高效率，通常会安排一个抬包同时吸取2-4台槽的铝液。在这个过程中，配铝工艺要求配铝工具备专业技能和细致的规划能力。他们需要根据每槽铝液的化验数据，计算出杂质的含量，并据此制定出合理的出铝方案。目标是在保证铝液品质的同时，最大化出铝抬包的利用率，减少空间浪费和运输往返量。为了实现这一目标，配铝工艺需要不断优化和创新。一方面，要加强对原料杂质的分析和控制，从源头上减少杂质对铝液品质的影响；另一方面，要改进出铝工艺和设备，提高出铝效率和抬包利用率。此外，还可以通过建立科学的配铝模型和算法，利用计算机辅助决策，进一步提高配铝的精确度和效率。

### 2.4 出铝作业自动化技术

#### 2.4.1 出铝设备自动化改造

(1) 出铝天车自动化升级。对传统出铝天车进行自动化升级改造，安装高精度的定位系统、自动控制系统与智能操作终端。通过定位系统实现天车在电解车间的精确定位与导航，自动控制系统能够根据出铝作业计划程与指令，自动完成天车的行走、升降、吊运等动作，智能操作终端则为操作人员提供可视化的操作界面与远程监控功能，提高出铝天车的作业效率与安全性。(2) 出铝泵与管道系统的自动化。在这一过程中，铝水包负责从冶炼炉中吸取铝水，通过抽真空设备产生的负压，高效、安全地完成铝水的抽取工作。这一自动化系统的引入，极大地提高了生产效率，降低了人工操作的难度和风险。系统能够精确控制铝水的流量和流速，确保生产过程的稳定性和连续性。自动化管道系统实现了铝水的快速、无损传输，为后续的加工和铸造提供了有力保障<sup>[2]</sup>。这种高度自动化的出铝泵与管道系统，正成为现代铝冶炼行业不可或缺的重要技术支撑。

#### 2.4.2 出铝作业流程自动化控制

(1) 作业流程规划与优化。根据电解铝生产工艺要求与车间布局，制定科学合理的出铝作业流程，并利用仿真技术对作业流程进行优化。确定最佳的出铝天车运行路径、出铝顺序以及各设备之间的协同工作方式，减少作业过程中的等待时间与空驶里程，提高出铝作业的整体效率。(2) 自动化作业控制系统开发。开发专门的出铝作业自动化控制系统，集成电解槽状态监测、出铝量计算、出铝设备控制等功能模块。该系统能够根据生产计划与实时槽况信息，自动生成出铝作业指令，并下发到各出铝设备的控制系统中，实现出铝作业的全流程自动化控制。操作人员只需在监控中心对作业过程进行监控与管理，必要时进行人工干预，大大减轻了劳动强度，提高了生产管理水平。

### 2.5 出铝作业优化调度技术

#### 2.5.1 多目标优化模型构建

(1) 优化目标确定。以出铝作业的产量最大化、能耗最小化、设备利用率最高化为优化目标，同时考虑电解槽的稳定性维护、产品质量控制等约束条件。例如，在追求产量最大化时，要确保出铝过程不会对电解槽的正常运行产生过大干扰，避免因过度出铝导致槽况恶化；在降低能耗方面，要合理安排出铝设备的运行时间与负荷，减少不必要的能源消耗。(2) 出铝作业模型表达。出铝作业模型通过数字化、智能化技术构建，实现铝水包的自动吸取、真空抽取及管道传输的精准控制。模型优化生产流程，确保铝水安全、高效地转运，提升生产效率和安全性，是铝冶炼行业智能化转型的关键。

#### 2.5.2 智能调度算法应用

(1) 算法原理与特点。智能调度算法能够在复杂的多目标优化问题中搜索到较优的调度方案。例如，遗传算法通过模拟生物进化过程中的遗传、变异与选择操作，在解空间中不断迭代搜索，逐步逼近最优解；粒子群优化算法则利用粒子群体在搜索空间中的运动与信息共享，快速找到优化问题的满意解。这些算法具有全局搜索能力强、收敛速度快、适应性好等特点，适用于电解铝出铝作业优化调度问题的求解。(2) 调度方案生成与评估。利用智能调度算法对多目标优化模型进行求解，生成不同的出铝作业调度方案。然后，通过建立调度方案评估指标体系，对各方案进行综合评估。评估指标包括产量完成情况、能耗指标、设备运行时间与故障率、电解槽稳定性指标等<sup>[3]</sup>。根据评估结果，选择出最适合当前生产工况与企业需求的出铝作业调度方案，并将其应用于实际生产中。

#### 2.5.3 动态调度与实时调整

由于电解铝生产过程中存在诸多不确定性因素，如电解槽突发故障、原材料供应变化、电力波动等，因此出铝作业调度方案需要具备动态调整能力。建立动态调度机制，实时监测生产过程中的各种变化信息，当发现实际生产情况与调度方案出现较大偏差时，及时利用智能调度算法对调度方案进行重新优化与调整，确保出铝作业始终能够在最优状态下进行，保障生产的连续性与稳定性。

#### 2.6 智能设备应用技术

在电解铝行业中，智能设备的应用极大地提升了生产效率和安全性，（1）智能出铝设备。智能真空抬包不仅具备传统抬包的基本功能，更融入了自动控制技术，能精准响应出铝量需求，自动调节抽取铝水的速率，实时监测铝水包的重量，有效防止铝液溢出及空气混入，确保出铝过程的清洁度与准确性。智能出铝控制系统则通过远程监控与操作技术，使操作人员能在安全距离外对出铝过程进行实时监控与调整，大大降低了操作风险，提升了出铝作业的安全性与精确度。（2）智能运输设备。无人驾驶抬包车集成了自主导航、智能避障与高效路径规划技术，能自主完成铝液从电解槽到净化或铸造车间的精准运输任务，减少了人力依赖，提高了运输效率。（3）智能检测设备。在线成分分析仪能快速且准确地分析铝液成分，为配铝优化提供科学依据<sup>[4]</sup>。而高精度、高可靠性的温度传感器与液位传感器则实时监控铝液的温度与液位变化，为出铝操作提供即时反馈，确保生产过程的精准控制。

#### 2.7 全流程协同控制技术

（1）协同控制的需求与挑战。电解铝出铝全流程涉及到多个环节和设备，需要实现各环节之间的协同控制，以保证生产的连续性和稳定性。然而，由于各环节之间的工艺参数相互关联、设备运行状态复杂多变，实现全流程的协同控制面临着巨大的挑战。例如，出铝量

的变化会影响电解槽的槽况和电流效率，而电解槽的槽况变化又会反过来影响出铝量和铝液质量。（2）协同控制策略的制定。针对电解铝出铝全流程的特点和协同控制的需求，制定相应的协同控制策略。采用分布式控制结构，将整个生产过程划分为多个子系统，每个子系统独立进行控制，同时通过通信网络实现各子系统之间的信息交互和协同工作。例如，在出铝过程中，根据电解槽的槽况和出铝量的要求，自动调整电解槽的出铝计划量。（3）协同控制效果的评估与优化。对全流程协同控制的效果进行评估和优化，采用系统性能指标、生产效率指标、质量指标等对协同控制的效果进行评价。根据评估结果，对协同控制策略进行调整和优化，不断提高全流程协同控制的性能和效果。

#### 结语

本研究通过深入探索电解铝出铝全流程智能控制的关键技术，取得了显著成果。通过数据采集与处理、电解槽状态监测与预测、出铝量精准控制等技术的综合应用，有效提升了电解铝生产的自动化与智能化水平。出铝作业自动化与优化调度技术的实施，进一步提高了生产效率与资源利用率。未来，将继续深化智能控制技术在电解铝行业的应用，推动电解铝产业向更高质量、更高效、更可持续的方向发展。

#### 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]肖文富.基于信息化系统的电解铝生产管理优化研究[J].科技创新与生产力,2024,45(2):83-86.
- [3]尤文存.氧化铝、电解铝的冶炼技术及发展探析[J].中国金属通报,2023(7):19-21.
- [4]刘克军.电解铝出铝全流程智能控制关键技术研究[J].冶金与材料,2021,41(4):93-94.