

天车精准下料系统在电解槽应用的效能优化实践

谢晓林, 李建, 王省伟, 练新强, 杨广飞^{*}
云南神火铝业有限公司, 云南 文山 663400
DOI:10.61369/EPTSM.2025070019

摘 要 : 针对铝电解生产过程中, 天车下料环节存在的精度不高、物料浪费等问题, 进行了深入的技术探索与应用研究。通过采用先进的传感器技术、自动化控制系统以及优化下料工艺等措施, 显著提高了铝电解天车的下料精度, 降低了生产成本, 提升了生产效率和产品质量, 为铝电解行业的可持续发展提供了有益的技术参考。

关 键 词 : 电解槽; 天车; 多功能天车; 料阀

Exploration and Application of Precise Cutting Technology for Aluminum Electrolysis Crane

Xie Xiaolin, Li Jian, Wang Shengwei, Lian Xinqiang, Yang Guangfei^{*}
Yunnan Shenhua Aluminum Industry Co., Ltd., Wenshan, Yunnan 663400

Abstract : In response to the problems of low precision and material waste in the overhead crane feeding process during aluminum electrolysis production, in-depth technical exploration and application research have been conducted. By adopting advanced sensor technology, automated control systems, and optimizing the cutting process, the cutting accuracy of the aluminum electrolysis overhead crane has been significantly improved, production costs have been reduced, production efficiency and product quality have been improved, and beneficial technical references have been provided for the sustainable development of the aluminum electrolysis industry.

Keywords : electrolytic aluminum; crown block; multi functional overhead crane; material valve

引言

电解铝天车系统主要由大车、小车、升降机构和电控系统等部分组成。大车和小车负责在电解槽上方移动, 升降机构则负责吊装和运输原料及产品。电控系统是整天车系统的大脑, 负责控制天车的精确移动和吊装操作。

铝电解生产是一个复杂的工业过程, 其中天车下料操作是确保电解槽内物料均匀分布和稳定生产的关键环节。传统的下料方式往往依赖于操作人员的经验和技能, 下料精度难以保证, 容易出现物料偏析、浪费以及对电解槽运行稳定性产生不利影响等问题。随着现代工业自动化技术的飞速发展, 探索和应用铝电解天车精准下料技术具有重要的现实意义和经济价值。

实现新阳极组入槽后封极物料高度相对一致且保持稳定, 是电解生产基础管理的难点之一, 其直接影响封极质量、槽维护水平、卡堵次数、残极返回料量、爆炸块开焊等诸多方面。为实现新阳极组封料量化管理, 探索电解天车覆盖料^[1]仓下料延时关闭功能, 以期实现精准下料。

一、铝电解天车下料现状及问题分析

铝电解生产中, 氧化铝作为核心原料, 需通过天车下料系统精准、稳定地输送至电解槽内, 以维持电解质成分平衡、补充电解反应消耗的物料, 并为电解过程提供适宜的反应环境。当前行业内天车下料作业仍以传统模式为主, 虽能满足基本生产需求, 但在精度控制、物料分布及劳动效率等方面存在显著短板, 制约

了电解生产整体效益的提升。

(一) 现有下料方式

前国内多数铝电解企业采用的天车下料方式, 以“人工操作+经验化控制”为核心, 具体流程可分为“定位-计量-下料-复位”四个环节: 操作人员通过天车操控台控制大车、小车移动, 将下料机构精准对准电解槽的下料口; 随后依据生产工艺中预设的经验值(如单槽单次下料量50-80kg), 通过手动调节下料

作者简介: 谢晓林(1987—), 男, 河南永城人, 本科, 工程师, 研究方向: 电气设备管理工作。
通讯作者: 杨广飞(1985—), 男, 河南永城人, 本科, 工程师, 研究方向: 电气设备管理工作。

闸门的开合度与开合时间，控制氧化铝物料的投放量；下料完成后，操作天车复位至待料区域，等待下一轮下料指令。

从计量方式来看，传统下料系统缺乏实时精准的计量手段：部分企业仅通过料箱的容积刻度估算下料量，部分企业虽配备了简易的称重传感器，但因传感器精度低（误差通常在 $\pm 5\%$ 以上）、信号易受天车振动干扰，无法实现动态实时计量；下料时间间隔则多依据电解槽的运行时长（如每20–30分钟下料一次）或操作人员的主观判断设定，未与电解槽内实际物料消耗速度、电解质液位等关键参数联动。这种“经验驱动”的下料模式，本质上是一种“开环控制”，缺乏对下料过程的实时监测与反馈调节机制，导致下料作业的稳定性和精准性难以保障。在这个过程中，下料量的控制通常依据预先设定的经验值或者粗略的计量装置，缺乏精确的实时监测和反馈调节机制^[2]。

（二）存在的问题

下料精度低：由于人工操作的主观性和计量装置的误差，实际下料量与理论需求量之间存在较大偏差。这不仅导致物料的浪费，增加生产成本，而且会影响电解槽内的物料平衡和电解质成分的稳定性，进而影响铝电解的电流效率和产品质量。

物料分布不均匀：下料过程中，无法确保物料在电解槽内均匀分布，容易出现物料堆积在某些区域，而其他区域物料不足的情况。这种物料分布的不均匀性会造成电解槽内电场分布不均，引发局部过热、阳极效应等异常现象，降低电解槽的使用寿命和生产稳定性。

劳动强度大：操作人员需要长时间高度集中注意力进行下料操作，劳动强度较大。而且，由于人工操作难以保证下料的一致性和稳定性，随着生产时间的延长，操作人员的疲劳程度增加，下料精度进一步下降，形成恶性循环。

二、精准下料技术原理及实现方法

针对传统天车下料模式的核心问题，精准下料技术以“实时监测、自动控制、工艺优化”为核心思路，通过整合传感器技术、自动化控制系统与优化工艺，构建“闭环控制”的下料体系，实现从“经验驱动”到“数据驱动”的转变。其核心目标是将下料精度控制在 $\pm 3\%$ 以内，物料分布均匀度提升至90%以上，同时降低人工劳动强度，推动铝电解天车下料作业向智能化、高效化升级。

（一）传感器技术的应用

为了实现下料量的精确测量和控制，采用高精度的重量传感器和物料流量传感器。重量传感器安装在天车的料箱或下料机构上，实时监测料箱内物料的重量变化，从而精确计算每次下料的实际重量^[3]。物料流量传感器则安装在下料管道中，通过测量物料在管道内的流速和流量，进一步对下料过程进行实时监控和数据采集。

（二）自动化控制系统

基于传感器采集的数据，构建一套先进的自动化控制系统^[4]。该系统主要包括可编程逻辑控制器（PLC）、人机界面

（HMI）和工业控制计算机等部分。PLC 作为核心控制单元，负责接收传感器信号、处理数据，并根据预设的下料策略和工艺参数，精确控制天车的下料动作。HMI 为人机交互界面，操作人员可以通过该界面实时查看下料数据、设备状态等信息，并进行必要的参数设置和操作指令下达。工业控制计算机则用于数据存储、分析和处理，实现对整个下料过程的信息化管理和远程监控。

（三）下料工艺优化

精准下料技术的落地，不仅依赖硬件设备与控制系统的升级，还需结合电解槽的运行特性，对下料工艺进行深度优化，实现“设备–控制–工艺”的协同匹配。通过对电解槽内物料流动规律、反应机理的研究，结合实际生产数据，优化下料顺序、下料速度、下料点布局等关键工艺参数，进一步提升下料精度与物料分布均匀度。

针对传统单点下料导致的物料分布不均问题，精准下料系统采用“多点下料”工艺，即在天车下料机构上设置2–4个下料口（根据电解槽尺寸调整），每个下料口对应电解槽内的不同区域，通过 PLC 控制各下料口的开合顺序与时间，实现物料的“分散投放”。

传统下料模式中，下料速度过快会导致物料对电解槽内电解质表面产生强烈冲击，破坏电解质的稳定性，同时产生大量扬尘（氧化铝粉尘浓度可达5–10mg/m³），不仅污染环境，还会造成物料损失；而下料速度过慢则会延长作业时间，降低生产效率。精准下料系统通过优化下料速度曲线，实现“变速下料”：下料初期，采用较低速度（如0.5kg/s），避免物料冲击电解质表面；下料中期，采用较高速度（如1.2kg/s），提升作业效率；下料后期，再次降低速度（如0.3kg/s），精准控制最终下料量。同时，系统在下料口处增设防尘罩与气流缓冲装置，进一步减少扬尘产生，使车间粉尘浓度控制在2mg/m³以下，符合国家环保标准。

三、天车封极时长精准控制程序优化

（一）普车精准控制程序优化

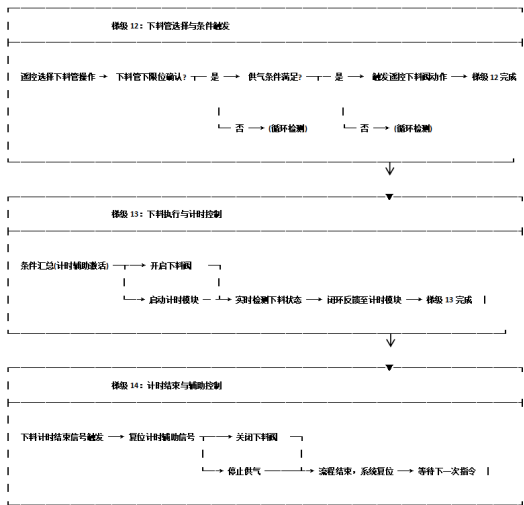


图1 第12梯级图

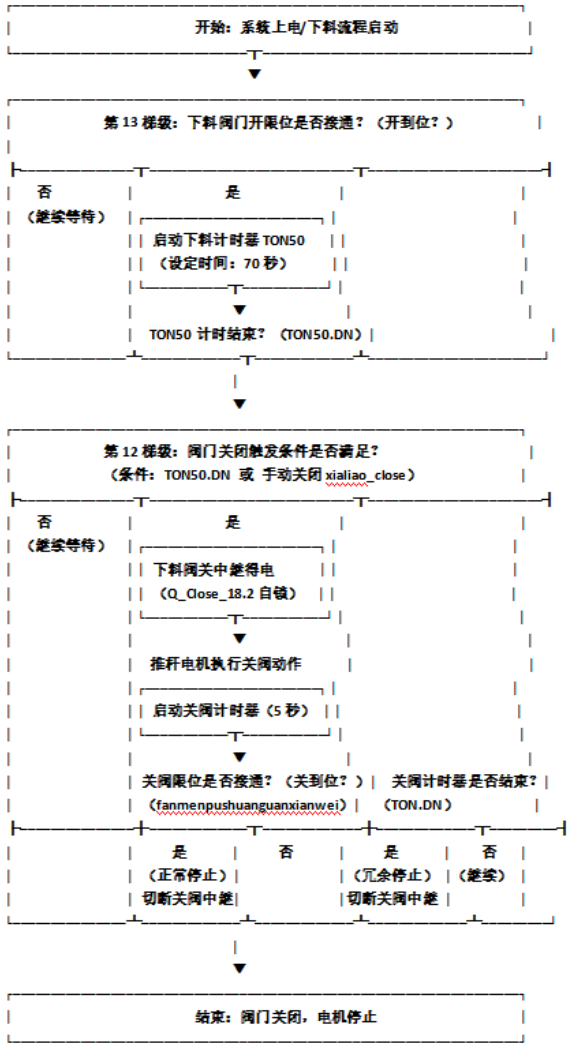


图2 第13梯级图

如上图1、图2所示程序编制涉及下料管子程序中12、13两个梯级，新增第13梯级为下料计时器，其阶梯条件为下料阀门推杆开限位常开点，当料阀打开到位开始计时。第12梯级其阶梯条件为真时料阀自动关闭，当下料计时计时结束时，ton50.DN接通，12梯级阶梯条件为真，下料阀关中继得电并自锁，料阀推杆电机开始关闭，当料阀关限位感应时推杆电机停止停止动作。为了增加安全冗余，避免料阀关限位失灵引起料阀关闭后推杆电机持续通电造成堵转造成的电机烧毁，12梯级中增加料阀关闭阀计时器，料阀关闭动作持续5秒后停止关闭。同时下料过程中手动应急关闭功能，操作工借助遥控器在任何情况下对料阀的开闭都具有控制权，避免天车大下料。

（二）多功能天车精准控制程序优化

程序编制涉及空压机子程序下的第12、13、14三个梯级，其中新增13梯级为下料计时器，其阶梯条件为下料阀打开中继，当料阀打开时该计时器开始计时，计时完成后14梯级 ton_xljs.DN 为真，下料计时辅助线圈得电自锁，12梯级下料计时辅助常闭触点断开，料阀自动关闭。同时下料过程中手动应急关闭功能，操作工借助遥控器在任何情况下对料阀的开闭都具有控制权，避免

天车大下料，天车定时下料改造如下表1所示。

表1 天车定时下料改造表

序号	设备名称	设备编号	统计手动下料平均时长 / 秒	设定定时下料时长 / 秒	累计完成 / 台
1	普车	1-1# 普	70	70	8
2		1-2# 普	80	80	
3		2-1# 普	90	90	
4		2-2# 普	70	70	
5		3-1# 普	68	68	
6		3-2# 普	60	60	
7		4-1# 普	80	80	
8		4-2# 普	90	90	
9	多功能天车	1-1# 机组	65	65	8
10		1-2# 机组	75	75	
11		2-1# 机组	87	87	
12		2-2# 机组	96	96	
13		3-1# 机组	60	60	
14		3-2# 机组	68	68	
15		4-1# 机组	90	90	
16		4-2# 机组	100	100	

该技术的成功应用，将促成新阳极组封极物料的量化管理，显著提升封极维护的质量，降低电解槽大锤头、卡堵现象的发生，减缓爆炸块开焊数量，更加促进电解生产物料平衡管理。此外，为防止“大下料”现象，该技术中创新融入安全冗余设计^[6]，包括下料延时、手动应急控制、料阀到位开关与关阀时间，共同构建四位一体安全冗余系统，更加确保下料设备安全稳定运行。

（三）应用效果

在电解铝生产过程中，电解铝天车系统发挥着重要作用。它不仅能够高效地完成原料的吊装和运输任务，还能协助进行产品的装卸和转移工作。通过电控系统的智能化控制，天车可以精确地到达指定位置，提高生产效率的同时降低操作失误率。

下料精度显著提高：通过传感器的精确测量和自动化控制系统的精准控制，下料量的平均误差从原来的 ±10% 以上降低到了 ±3% 以内，有效减少了物料的浪费，降低了生产成本。

物料分布均匀性改善：采用优化后的下料工艺和多点下料方

式，电解槽内物料的分布更加均匀，电场分布更加稳定，阳极效应的发生频率明显降低，电解槽的运行稳定性得到了显著提升。

生产效率提升：精准下料技术的应用减少了因物料问题导致的电解槽异常情况，降低了设备维护和处理异常的时间，从而提高了整个车间的生产效率。同时，由于下料操作的自动化程度提高，操作人员的劳动强度大幅降低，可以将更多的精力投入到设备巡检和生产管理等其他工作中，进一步优化了生产流程。

四、结语

1.通过天车定时下料设定升级，可看到电解铝天车系统在提高生产效率和降低操作难度方面的显著效果。随着技术的不断进

步，相信电解铝天车系统将会在未来发挥更加重要的作用；

2.通过对铝电解天车精准下料技术的探索与应用实践，证明了采用先进的传感器技术、自动化控制系统以及下料工艺优化等措施，可以有效解决传统下料方式存在的精度低、物料浪费和分布不均匀等问题，显著提高铝电解生产的经济效益和产品质量。

参考文献

- [1] 张含博, 孙康建. 电解铝厂覆盖料输送工艺现状及发展趋势 [J]. 轻金属, 2023(05): 32-35.
- [2] 张华龙, 郑正国, 朱会文. 铝电解多功能天车电气控制系统的设计改进 [J]. 中国设备工程, 2023(12): 155-157.
- [3] 惠江江. 铝电解多功能天车常见故障及排除措施 [J]. 科学技术创新, 2019(33): 150-151.
- [4] 康想仁. 高磁场环境中铝电解车间天车轨道智能检修机器人设计与研究 [J]. 世界有色金属, 2024(18): 35-37.
- [5] 赵爱军. 铝电解多功能天车的管理与维护探讨 [J]. 化学工程与装备, 2019(10): 193, 219.