

电解铝多功能天车PLC控制系统设计与优化

马立刚

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: 围绕电解铝多功能天车PLC控制系统展开设计与优化,设计环节涵盖硬件选型、软件编程、功能模块搭建及抗干扰设计,优化从控制算法、通信效率、故障诊断与预警、能耗、人机交互五个维度推进。通过系列举措,提升系统稳定性、控制精度与作业效率,降低能耗与操作失误率,为电解铝生产连续性与智能化提供支撑,对相关设备技术升级具有参考价值。

关键词: 电解铝多功能天车; PLC控制系统; 设计; 优化

引言

电解铝生产中,多功能天车承担关键作业任务,其控制系统性能直接影响生产效率与稳定性。传统控制系统存在灵活性差、故障排查难等问题,难以适配生产需求。PLC技术因可靠性高、编程灵活等优势,成为天车控制系统核心。基于此,开展PLC控制系统设计与优化研究,以解决传统系统弊端,满足电解铝生产对设备自动化、智能化的要求。

一、电解铝多功能天车PLC控制系统基础认知

在电解铝生产场景中,多功能天车需完成起升、平移、旋转、抓取等复杂动作,且需在高温、多粉尘的恶劣环境下连续运行,这对控制系统的稳定性、抗干扰能力提出严苛要求。PLC(可编程逻辑控制器)作为控制系统核心,其工作原理是通过输入模块采集天车各传感器信号,如位置传感器、重量传感器、温度传感器等,经中央处理器按预设程序运算处理后,通过输出模块驱动执行机构,实现对天车动作的精准控制。

相较于传统继电器控制系统,PLC控制系统在灵活性与扩展性上优势显著。传统系统通过硬件接线实现逻辑控制,修改功能需重新布线,耗时费力;而PLC通过软件编程实现逻辑控制,只需修改程序即可调整功能,适配天车在不同生产环节的作业需求。同时,PLC具备完善的故障诊断功能,可实时监测系统运行状态,及时反馈故障信息,为维护人员快速排查故障提供支持,减少停机时间,保障电解铝生产的连续性^[1]。

二、电解铝多功能天车PLC控制系统设计

(一) 硬件选型设计

硬件选型需结合天车作业需求与生产环境特性综合

考量。先是PLC主机选型,需根据输入输出点数、运算速度、存储容量确定型号。天车包含多个动作机构,每个机构需多组传感器与执行器,输入输出点数较多,应选择具备扩展模块接口的主机,方便后续功能拓展;运算速度需满足天车实时控制需求,避免因运算延迟导致动作卡顿;存储容量需适配程序规模,预留一定冗余空间,便于后续程序优化与功能添加。

再是输入输出模块选型,输入模块需适配传感器信号类型,如模拟量输入模块用于采集重量、温度等连续变化信号,数字量输入模块用于采集限位开关、按钮等离散信号;输出模块需匹配执行机构类型,如继电器输出模块用于驱动接触器、电磁阀等交流负载,晶体管输出模块用于驱动步进电机、伺服电机等直流负载。此外,考虑到电解铝生产环境高温、多粉尘,需选择具备防尘、耐高温特性的硬件设备,如采用密封式外壳的PLC主机与模块,延长设备使用寿命。

(二) 软件编程设计

软件编程需遵循模块化、结构化编程理念,确保程序逻辑清晰、易于维护。先进行程序架构设计,将天车控制功能划分为起升控制、平移控制、旋转控制、抓取控制等独立模块,每个模块单独编程,降低程序复杂度,便于后续调试与修改。

在具体编程过程中,采用梯形图编程语言,因其图形化表达形式与电气控制原理图相似,符合工程技术人员操作习惯,降低编程难度。以起升控制模块为例,需实现起升、下降、停止等动作控制,同时加入过载保护、限位保护逻辑。通过重量传感器采集起升负载信号,当负载超过预设阈值时,程序触发过载保护,切断起升输出,防止设备损坏;通过位置传感器采集起升高度信号,

当达到上限或下限位置时，触发限位保护，停止起升或下降动作，保障作业安全。

此外，需在程序中加入通信功能模块，实现PLC与上位机、触摸屏的通信。通过通信模块，上位机可实时获取天车运行数据，如运行速度、负载重量、故障信息等，便于管理人员远程监控生产状态；触摸屏可作为人机交互界面，操作人员通过触摸屏设置参数、控制天车动作，提升操作便捷性^[2]。

（三）功能模块搭建

根据多功能天车作业需求，搭建核心功能模块，确保各模块协同工作，实现天车高效作业。起升模块需精准控制起升速度与高度，适应不同重量物料的起升需求，如吊运电解槽物料时，需低速平稳起升，避免物料洒落；平移模块需实现天车在轨道上的精准定位，通过位置传感器反馈信号，调整平移速度，确保天车准确停靠在目标位置。

旋转模块用于控制天车抓取机构的旋转角度，满足不同作业场景下的物料摆放需求，如将物料旋转至指定角度后放置在电解槽内；抓取模块需根据物料类型选择合适的抓取方式，如针对块状物料采用机械爪抓取，针对粉状物料采用吸盘抓取，同时通过压力传感器监测抓取力度，防止力度过大损坏物料或力度过小导致物料脱落。各功能模块之间需建立联动机制，如起升动作与平移动作配合时，程序需协调两者速度，避免因动作不协调导致天车晃动，影响作业稳定性。

（四）抗干扰设计

电解铝生产环境中存在大量电磁干扰，如电解槽运行产生的强磁场、大功率设备启动产生的电压波动等，易导致PLC控制系统信号紊乱，影响天车正常运行，因此需进行针对性的抗干扰设计。在硬件层面，采用屏蔽电缆传输传感器与执行器信号，减少电磁干扰对信号的影响；将PLC系统电源与大功率设备电源分开布线，避免大功率设备启动时产生的电压波动影响PLC电源稳定性，同时在PLC电源输入端加装稳压装置与滤波装置，进一步净化电源。

在软件层面，通过程序优化增强系统抗干扰能力。采用信号滤波算法，对传感器采集的信号进行处理，去除干扰信号，确保信号准确性；设置信号冗余判断，对关键信号如限位信号、过载信号，采用多传感器采集对比的方式，当多个传感器信号一致时，才执行相应控制动作，避免单一传感器故障导致误动作；在程序中加入看门狗定时器，当程序因干扰出现死机时，看门狗定时

器触发系统复位，恢复程序正常运行，减少故障影响。

三、电解铝多功能天车PLC控制系统优化

（一）控制算法优化

控制算法直接影响PLC控制系统的响应速度与控制精度，传统PID算法在天车负载波动较大时易出现超调、响应延迟，需针对性优化。针对起升机构，采用模糊PID控制算法，融合模糊控制与PID控制优势，可根据负载变化实时调整PID参数：当负载变动时，模糊控制器通过模糊推理判断变化趋势，动态调节比例、积分、微分系数，避免固定参数导致的控制精度下降，确保起升动作平稳精准。

对于平移机构，采用自适应控制算法，可依据轨道摩擦系数、运行速度等变量变化自动调整控制策略。电解铝车间轨道长期使用易积尘，导致摩擦系数增大，传统算法难适配，易引发速度波动；自适应算法通过实时采集平移电机电流、转速信号，计算摩擦系数变化，调整输出扭矩以稳定平移速度。同时，平移启停阶段采用S型加减速算法，替代传统梯形加减速，减少天车冲击与机械磨损，延长设备寿命^[3]。

（二）通信效率优化

PLC与上位机、触摸屏的通信效率，决定数据传输实时性与远程监控效果。传统RS485通信存在传输速率低、距离有限的问题，难以满足大规模数据实时传输需求，需优化通信方式与协议。采用工业以太网替代RS485，其传输速率可达100Mbps以上，且具备传输距离远、抗干扰能力强的优势，可实现三者间高速数据交互。

通信协议选用工业领域常用的Modbus-TCP协议，凭借开放性强、兼容性好的特点，实现不同品牌设备的互联互通。同时对通信数据优化处理：采用分包传输，按优先级划分数据，故障信息、紧急停车信号等关键数据优先传输，确保及时反馈；对历史运行数据等非关键信息采用压缩算法，减少数据量以提升传输效率。此外，通信网络加入双网冗余设计，一条线路故障时自动切换至备用线路，保障通信连续，避免监控失效与控制失灵。

（三）故障诊断与预警优化

传统PLC控制系统故障诊断依赖人工排查，效率低、耗时长，难以适配电解铝连续生产需求，需优化故障诊断与预警功能，实现故障精准识别、快速定位与提前预警。构建故障诊断数据库，收集电机、传感器、执行器等常见故障类型，记录每种故障的特征信号、成因与处理方法。通过PLC程序实时采集天车运行数据，与数据库中特征信号对比分析，匹配故障特征时，系统自动识

别故障类型，通过触摸屏与上位机发出报警，同步显示故障位置、成因及处理建议，指导维护人员快速排查。

引入故障预警机制，通过数据分析预测潜在故障：对电机、轴承、传感器等关键部件的运行参数长期监测，建立参数变化趋势模型，当参数变化速率超正常范围或接近故障阈值时，系统发出预警，提醒维护人员提前检修，避免故障发生。同时优化故障诊断算法，采用神经网络算法，通过大量故障数据训练，学习故障特征与数据的复杂关系，提升对复杂故障、隐性故障的识别准确率，减少误判与漏判^[4]。

（四）能耗优化

多功能天车是电解铝生产中的高能耗设备，对PLC控制系统进行能耗优化，可降低生产成本，推动绿色生产。从控制策略入手，通过PLC程序优化天车动作流程，减少无效能耗：合理规划作业路径，避免空车往返与重复动作，例如物料转运时，根据各电解槽需求规划最优路径，在完成的同时减少行驶距离与作业时间。

优化各机构电机运行参数，采用变频调速技术：传统电机定速运行，无论负载大小均以额定转速运转，能耗浪费严重；变频调速技术通过PLC控制变频器输出频率，调整电机转速，使转速与负载需求匹配，如空载时降低转速、满载时提高转速。同时，电机启停阶段通过PLC控制变频器实现软启动与软停止，避免电流冲击，减少电能损耗，且保护电机与机械部件，延长使用寿命。

此外，优化PLC控制系统自身能耗：选用低功耗硬件设备，如节能型PLC主机与模块，降低运行功耗；天车无作业任务等闲置时段，PLC程序自动将系统切换至低功耗模式，关闭非必要模块电源，减少待机能耗。多维度的能耗优化措施，可有效降低天车运行能耗，为企业节约成本，符合绿色制造趋势。

（五）人机交互优化

人机交互界面是操作人员与PLC控制系统的连接桥梁，优化设计可提升操作便捷性与安全性，减少操作失误。重新设计触摸屏界面，采用分层式结构，划分为主界面、功能控制界面、参数设置界面、故障信息界面：主界面显示天车运行位置、负载重量、速度等关键状态信息，方便操作人员快速掌握情况；功能控制界面按动

作机构分类，如起升、平移控制界面，每个界面设置清晰的控制按钮与状态指示灯，便于针对性操作；参数设置界面加入权限管理，不同岗位人员拥有不同修改权限，如普通操作人员仅可修改作业参数，管理人员可调整系统核心参数，防止参数误改引发故障；故障信息界面实时显示故障类型、位置及处理建议，采用红色报警灯与文字提示结合的方式，确保操作人员及时发现故障。

优化操作逻辑，贴合操作人员习惯：如起升操作中，将起升按钮与上升指示灯、下降按钮与下降指示灯相邻设置，避免按钮位置混乱导致误操作；参数设置时加入输入验证功能，输入参数超合理范围时，系统发出提示并拒绝保存，防止错误参数影响系统运行。同时增加操作引导功能，在触摸屏界面设置操作指南按钮，操作人员点击可查看各功能模块的操作步骤与注意事项，帮助新操作人员快速熟悉流程，减少培训时间。通过人机交互优化，提升操作人员对系统的掌控能力，降低操作失误率，保障天车作业安全高效。

结语

针对电解铝多功能天车PLC控制系统的设计与优化研究，明确了硬件选型、软件编程等设计要点，提出多维度优化策略。设计保障系统基础运行能力，优化则进一步提升性能与效能，有效解决传统系统问题，提升天车作业安全性与经济性。相关研究成果可为电解铝行业同类设备控制系统升级提供实践参考，助力行业生产智能化与绿色化发展。

参考文献

- [1] 杜彩芳. 铝电解多功能天车电气系统调试探析[J]. 当代化工研究, 2020, 22(13): 39-40.
- [2] 宁宗藩. 天车电气控制系统安装与调试分析[J]. 海峡科技与产业, 2020, 13(7): 75-76, 88.
- [3] 宁宗藩. PLC可编程控制器在天车电气控制系统的应用技术分析[J]. 科技风, 2020, 11(33): 76-77.
- [4] 王海涛, 高军永, 于永会. 基于PLC控制的电解铝覆盖料天车加料控制系统设计与实现[J]. 现代机械, 2025(4): 93-97.