

基于 PLC 的工程机械电气控制系统设计

魏耀轲¹, 宋 维², 黄 春³

(1. 北京牧晨机电有限公司, 北京 102308;

2. 中国汽车工业配件销售有限公司, 北京 100142;

3. 北京神舟天辰物业服务有限公司, 北京 100081)

摘 要 本文针对工程机械电气控制系统提出了一种基于 PLC 的设计方案, 并详细阐述了 PLC 在工程机械控制领域的应用优势, 从硬件架构、软件设计等方面给出了系统总体设计思路, 重点研究了 PLC 的选型与硬件配置、传感器与执行器的选型及接口设计、人机界面设计、通信网络设计等关键技术, 并对 PLC 程序的总体设计、主控程序流程、关键控制功能模块化设计、故障诊断等进行了深入探讨, 以期为相关人员提供参考。

关键词 工程机械; PLC; 电气控制; 总体设计方案

中图分类号: TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.13.002

0 引言

随着工程机械行业的快速发展和智能化需求的不断提升, 传统的继电器控制方式已难以满足日益复杂的控制要求。可编程逻辑控制器 (PLC) 以其良好的可靠性、灵活性和功能性, 在工程机械电气控制领域得到了广泛应用。基于 PLC 技术的工程机械电气控制系统设计, 已成为学术界和工业界普遍关注的研究课题。

1 PLC 的基本原理

PLC (可编程逻辑控制器) 是一种专门为工业控制设计的数字运算控制装置, 它采用可编程的存储器来存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等功能的指令, 通过数字或模拟式输入 / 输出来控制各种类型的机械设备或生产过程。

PLC 的基本工作原理是: 首先通过编程设备将控制程序写入 PLC 内存, 然后 PLC 按照程序指令周期性地从输入端获取现场信号, 经过用户编写的程序逻辑运算处理后, 将控制结果信号输出到输出端, 实现对被控对象的自动控制^[1]。与传统的继电器控制系统相比, PLC 具有以下特点: (1) 采用标准化的硬件结构和模块化设计, 具有很强的通用性和灵活性; (2) 控制程序易于编写、修改、调试和维护, 软件设计较为简单; (3) 运行可靠性高, 能够适应恶劣的工业环境; (4) 体积小、集成度高、功耗低, 可显著节省安装空间和成本; (5) 具有较强的通信功能, 支持多种现场总线和以太网协议; (6) 丰富的逻辑运算和数据处理指令, 编程语言规范, 功能不断丰富; (7) 诊断和监控功能完善, 可实现远程编程、调试与维护。

2 PLC 在工程机械电气控制系统中的优势

2.1 灵活性与可编程性的完美结合

对于复杂多变的工程机械控制需求, PLC 可以通过梯形图、指令表等多种编程语言, 将设计者的控制思路转化为具体的控制程序。这种可编程性使得控制系统能够随着需求的变化而灵活调整, 无需更改硬件结构^[2]。同时, PLC 还支持模块化编程, 可将复杂的控制任务分解为多个独立的功能模块, 提高程序的可读性和可维护性。

2.2 卓越的可靠性与环境适应性

工程机械往往需要在恶劣的环境条件下长时间连续作业, 这对控制系统的可靠性提出了极高要求。PLC 采用高度集成的硬件设计和严格的生产工艺, 具有极强的抗干扰能力和环境适应性。它可以在振动、冲击、高低温、潮湿等极端条件下稳定运行, 有效避免了因环境因素导致的控制失效。PLC 内置了多种故障诊断和容错机制, 能够实时监测系统状态, 及时发现和隔离故障, 确保控制系统的高可用性。

2.3 强大的通信与网络化能力

随着工程机械智能化水平的不断提升, 设备之间的协同作业和远程管理已成为必然趋势。PLC 凭借其强大的通信接口和网络化能力, 在这一趋势中扮演着关键角色。现代 PLC 支持多种工业以太网协议和现场总线标准, 可以方便地实现设备间的数据共享和实时通信^[3]。基于 PLC 的控制系统还可以与上位机、SCADA、MES 等高层系统无缝集成, 实现生产数据的采集、分析和优化。通过网络化的 PLC 控制系统, 工程机械的作

业状态和健康情况可以实时上传至云端平台,便于远程诊断和预测性维护,大幅提升设备管理的智能化水平。

3 基于 PLC 的工程机械电气控制系统总体设计方案

3.1 控制系统需求分析

在基于 PLC 的工程机械电气控制系统设计中,控制系统需求分析是至关重要的第一步。只有深入理解工程机械的功能需求和性能指标,才能够设计出满足实际应用的控制方案。

首先,需要明确工程机械的作业工况和技术参数,如载荷容量、行驶速度、动作频率等,这些参数直接决定了控制系统的硬件配置和性能要求。其次,要分析工程机械的动力系统特点,如采用液压、电液混合还是纯电驱动,不同的驱动方式对控制精度、响应速度等有不同要求。

此外,还需考虑工程机械的操作模式和人机交互需求。例如:是采用手动操作杆、遥控器,还是触摸屏等操作方式,不同的操作模式对于 PLC 输入输出接口的类型和数量有不同要求。同时,还要分析控制系统的安全性和可靠性需求,如紧急停机、故障诊断、冗余保护等功能。

最后,不可忽视的是控制系统的可扩展性和互联互通性需求。随着工程机械的智能化发展,控制系统需要预留足够的接口和协议支持,以便与其他系统实现数据交换和远程管理。

只有通过全面细致的需求分析,才能以此为基础,合理地规划 PLC 硬件选型、I/O 配置、软件架构等总体设计方案,从而实现高效可靠、智能协同的工程机械电气控制系统。

3.2 硬件架构设计

3.2.1 PLC 选型与硬件配置

PLC 选型需全面评估控制对象的 I/O 点数、处理速度、存储容量、通信接口、可靠性等多方面需求。对于大型工程机械,宜选用高性能的模块化 PLC,如西门子 S7-1500 系列,其卓越的运算能力、丰富的功能模块和灵活的扩展能力,能够满足复杂的控制需求。PLC 硬件配置需合理规划机柜布局,综合考虑电磁兼容性、散热、维护等因素。电源模块应选用冗余设计,确保系统可靠运行^[4]。根据现场设备分布情况,合理配置数字量、模拟量、特殊功能等 I/O 模块,并预留足够的余量。对于一些关键部件,如行走机构、回转平台等,可考虑配置独立的控制单元,提高系统的可维护性和可靠性。科学合理的 PLC 选型与硬件配置是实现高性能控制系统的基础。

3.2.2 传感器与执行器选型及接口设计

工程机械电气控制系统通过各类传感器采集机械的位置、速度、压力等状态信号,并通过执行器如比例阀、伺服电机等实现运动控制。传感器选型需根据测量对象的物理特性、量程、精度、响应速度、工作环境等因素综合确定。常用的传感器包括编码器、压力传感器、倾角传感器等。执行器选型需匹配负载的额定功率、调速范围、控制精度等参数,并满足防爆、防护等特殊要求。液压比例阀、伺服阀是工程机械常用的执行器。传感器与执行器的接口设计需考虑信号类型、电平标准、屏蔽接地等细节,确保信号完整性和抗干扰性。对于一些特殊传感器和执行器,可能需要设计专用的信号调理电路或驱动电路,以满足 PLC 的接口要求。合理的传感器与执行器选型及接口设计是实现精确可靠控制的关键。

3.2.3 人机界面设计

人机界面(HMI)是操作人员与控制系统交互的重要媒介,直接影响到设备的操控性和信息查询的便利性。工程机械的 HMI 通常采用嵌入式触摸屏,并根据操作人员的习惯和机械特点进行定制化设计。界面布局应清晰直观,重要信息醒目,并支持多语言显示。交互方式应简洁高效,提供多级菜单、快捷键、手势等操作方式。HMI 还应具备数据记录、故障诊断、参数设置等实用功能,并提供必要的安全访问机制^[5]。为适应恶劣环境,HMI 需选用高亮度、宽温、全密封的工业级产品,并合理设计面板开孔和安装方式。

3.2.4 通信网络设计

工程机械电气控制系统通常采用分层分布式的网络架构,不同层级和功能单元之间需要通过可靠高效的通信网络实现数据交换和指令传输。现场层宜采用工业以太网,如 PROFINET、EtherCAT 等,连接 PLC、I/O 模块、智能传感器等现场设备,提供实时的数据采集和设备协同。控制层则采用 PROFIBUS-DP 等现场总线,连接各个功能部件的控制单元,实现机械动作的同步控制。车载网络方面,可选用 CAN 总线连接发动机、变速箱等核心部件。考虑到工程机械的移动作业特点,还需合理规划无线通信网络,如 WiFi、5G 等,以实现远程监控和大数据分析。通信电缆选型和布线敷设需满足机械布局 and 运动特性,必要时采取耐油、屏蔽等措施。

3.3 软件架构设计

3.3.1 PLC 程序总体设计

PLC 控制系统的程序设计应遵循模块化、结构化的原则。首先需要根据工程机械的功能需求和工艺流程,

合理划分控制任务,确定程序的总体架构。一般采用主程序+子程序的结构,主程序负责调度和协调,子程序负责具体的控制功能。子程序宜根据功能进行模块化设计,提高程序的可重用性和可维护性。在程序设计过程中,还需统筹考虑任务的执行周期、优先级、数据依赖等因素,合理安排程序的执行顺序和流程。对于一些实时性要求高的任务,如伺服控制,可采用中断或定时器机制。为提高程序的可靠性,应充分利用PLC的诊断和容错功能,并设计合理的异常处理逻辑。程序总体设计为后续的详细编码和调试奠定了基础。

3.3.2 主控程序流程设计

主控程序是PLC控制系统的核心,其流程设计直接影响系统的运行效率和逻辑正确性。主控程序通常采用循环扫描方式,按照固定的周期执行I/O刷新、逻辑运算、数据处理等任务。程序开始时,应进行必要的初始化,如变量清零、参数设置等。然后进入主循环,依次执行各个控制子程序,如顺序控制、PID调节、安全监控等。在每个循环末尾,需进行I/O刷新,将运算结果输出到执行器,并读取传感器的最新状态。主程序还需处理通信任务,如从SCADA接收指令,向MES上报数据等。为确保实时性,主循环的执行时间应控制在固定范围内,必要时可采用看门狗机制防止程序死循环。

3.3.3 关键控制功能模块化设计

1. 动作控制模块。工程机械的动作控制是PLC程序的重要组成部分。动作控制模块负责协调各个执行机构,完成装载、行走、转向等复杂操作。设计时需充分考虑机械结构和液压系统的特点,合理规划动作序列和逻辑条件。对于一些关键动作,如起重臂伸缩,需实现平稳过渡和速度控制,避免冲击和振动^[6]。此外,还需考虑动作的安全保护,如限位、超载等异常情况的检测和处理。动作控制的模块化设计可提高程序的可读性和可维护性。

2. 速度控制模块。工程机械的速度控制直接影响作业效率 and 操作精度。速度控制模块通过调节执行器如比例阀、伺服电机等的输出,实现对机械运动速度的精确控制。常用的控制算法包括PID、模糊控制、自适应控制等。在设计速度控制模块时,需合理设置控制参数,如采样周期、积分限幅等,以获得最佳的动态响应和稳态精度。此外,还需考虑速度与位置、力矩等其他物理量的协调控制,实现机械运动的平稳性和可重复性。速度控制模块的优化设计是提高工程机械自动化水平的关键。

3. 位置控制模块。位置控制是工程机械实现精确

作业的基础。位置控制模块根据目标位置和反馈位置,通过闭环控制实现机械部件的精确定位。常用的位置反馈传感器包括编码器、位移传感器等。控制算法一般采用PID控制,并结合前馈补偿、死区处理等措施提高动态性能。为实现复杂轨迹的跟踪控制,还需进行插值运算和平滑处理。位置控制精度的提高对机械设计和传感器选型也提出了更高要求。模块化的位置控制程序可显著提高系统的灵活性和可扩展性。

3.4 故障诊断程序设计

可靠的故障诊断是确保工程机械安全高效运行的关键。PLC控制系统需配备完善的故障诊断程序,实现对系统硬件、软件以及机械部件的实时监测和故障判断。诊断程序通过采集各类传感器信号,并与预设的阈值或模型进行比较,及时发现异常状况。常见的故障类型包括传感器失效、执行器卡死、通信中断、程序错误等。诊断程序需采用合理的故障判别逻辑和容错算法,提高诊断的准确率和可靠性。在故障发生时,诊断程序应及时向操作员发出警报,并根据故障严重程度采取相应的保护措施,如切断电源、停止运动等。此外,诊断程序还应具备故障记录和溯源的功能,为事后的故障分析和维修提供依据。完善的故障诊断程序可显著提高工程机械的可用性和安全性。

4 结束语

基于PLC的工程机械电气控制系统设计,可从硬件架构、软件设计等多个方面入手,显著提升系统性能。PLC卓越的可靠性、灵活的编程性和强大的通信能力,使其成为工程机械控制的理想选择。未来,随着大数据、人工智能等新技术的发展,基于PLC的控制系统必将向着更加智能化、网络化的方向发展,为工程机械的自动化和信息化水平的全面提升做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 丁振山,乔金师.基于PLC技术的工程机械电气设备自动化控制系统设计[J].中国机械,2024(36):28-31.
- [2] 史耕田.PLC技术在工程机械电气控制装置中的运用[J].模具制造,2024,24(03):194-196,199.
- [3] 郝振亮.工程机械电气控制系统的基础构造分析[J].工程抗震与加固改造,2023,45(03):181.
- [4] 钟磊.工程机械电气控制系统故障研究[J].内燃机与配件,2022(01):79-81.
- [5] 陈鼎淇.基于PLC工程的机械电气设备安全控制系统研究分析[J].科学技术创新,2021(31):8-10.
- [6] 李建刚.工程机械电气设备施工技术与质量控制分析与探讨[J].造纸装备及材料,2021,50(08):34-35.