

PLC 控制在机电一体化系统中的应用研究

李洪泽

铁岭市清河电力监理有限责任公司，辽宁铁岭，112003；

摘要：本文系统探讨了可编程逻辑控制器（PLC）在机电一体化系统中的核心应用及其优化策略。首先，概述了 PLC 控制技术的发展历程、基本结构与工作特点。随后，重点分析了 PLC 在运动控制、过程控制、数据采集与监控、故障诊断与保护等四个关键领域的应用模式与技术实现。研究表明，PLC 凭借其高可靠性、灵活编程和强大抗干扰能力，已成为现代机电一体化系统的中枢控制单元。为进一步提升系统性能，本文提出了模块化设计、高级编程语言应用、网络通信集成与智能化升级等优化策略。最后，对未来 PLC 技术的融合发展趋势进行了展望，强调了其在智能制造与工业 4.0 背景下的持续核心价值。

关键词：PLC 控制技术；机电一体化；运动控制；过程控制；智能制造；工业网络

DOI：10.69979/3029-2727.25.02.075

引言

随着工业 4.0 智能制造等新一轮科技革命的推进，现代机电一体化系统对控制的实时性、精确性、网络化与智能化提出了更高要求。PLC 技术本身也在持续演进，从早期的逻辑运算发展到如今具备复杂运动控制、过程调节、数据管理和网络通信能力的综合性控制平台。因此，深入研究 PLC 控制在机电一体化系统中的具体应用模式、面临的挑战以及优化方向，对于推动相关产业的技术升级与创新具有重要意义。

1 PLC 控制技术概述

可编程逻辑控制器（PLC）是一种专为工业环境设计的数字运算电子系统。它采用可编程的存储器，内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术运算等操作的指令，并通过数字或模拟输入/输出接口，控制各类机械设备与生产过程。

发展历程：PLC 起源于 20 世纪 60 年代末的美国汽车制造业，最初目的为替代繁琐的硬接线继电器控制系统。历经数代发展，其功能已从简单的逻辑控制，扩展至包括运动控制、过程控制、网络通信和人机交互在内的综合控制。

基本结构：典型的 PLC 硬件系统主要包括：

中央处理单元（CPU）：系统的运算与控制核心，负责执行用户程序、处理数据。

存储器：存储系统程序、用户程序与工作数据。

输入/输出（I/O）单元：连接现场传感器与执行器的桥梁，实现电信号转换与电气隔离。

电源模块：为 PLC 各部件提供稳定工作电压。

编程器/编程软件：用于编写、调试、下载和监控用户程序的工具。

工作特点：

高可靠性：设计坚固，抗电磁干扰、振动、温度和湿度变化能力强。

编程灵活：支持梯形图（LD）、指令表（IL）、功能块图（FBD）、结构化文本（ST）等多种符合 IEC 61131-3 标准的编程语言，易于工程技术人员掌握与修改。

实时性强：采用循环扫描的工作方式，能可靠、快速地响应现场信号的变化。

扩展性好：模块化设计允许根据需求灵活增加 I/O 点数、功能模块（如高速计数、脉冲输出、模拟量处理）和通信接口。

维护方便：自诊断功能强大，模块更换简便，极大降低了系统故障排查与维修时间。

这些特点使得 PLC 能够完美适应机电一体化系统复杂、多变、环境苛刻的控制需求^[1]。

2 PLC 在机电一体化系统中的核心应用

在机电一体化系统中，PLC 作为上层管理信息系统与底层执行设备之间的关键枢纽，其应用渗透到从单机设备到整条生产线的各个环节。

2.1 PLC 在运动控制的应用

运动控制是机电一体化系统的核心功能之一，涉及对位置、速度和转矩的精确控制。现代 PLC 已深度集成运动控制功能。

伺服/步进电机控制：通过内置或外扩的专用运动

控制模块, PLC 可输出高速脉冲序列 (PTO) 或通过现场总线 (如 PROFINET, EtherCAT) 发送控制字, 精确控制伺服或步进电机的转角、转速, 实现单轴或多轴的定位控制。例如, 在数控机床、机器人关节驱动、包装机械的定位送料等场景中, PLC 负责解析运动轨迹指令, 协调各轴动作。

多轴联动与插补: 高级 PLC 支持直线、圆弧等插补功能, 能够实现两轴及以上坐标的精确同步运动, 用于完成复杂的轮廓加工或轨迹跟踪。

变频器控制: PLC 可通过数字量输出或通信网络 (如 Modbus, PROFIBUS) 控制变频器的启停、频率给定, 从而实现对交流异步电机的平滑调速, 广泛应用于风机、水泵、传送带等设备的节能与流程控制。

2.2 PLC 在过程控制的应用

过程控制关注温度、压力、流量、液位等连续物理量的稳定与调节。PLC 在此领域同样表现出色。

模拟量处理: 通过模拟量输入 (AI) 模块, PLC 实时采集来自现场变送器的连续信号 (如 4-20mA, 0-10V)。通过模拟量输出 (AO) 模块, 向调节阀、电动执行器等装置输出控制信号。

闭环控制实现: PLC 的 CPU 或专用 PID 控制功能模块, 能够运行比例-积分-微分 (PID) 控制算法, 对采集的过程变量 (PV) 与设定值 (SP) 进行比较和运算, 输出控制量 (OP), 形成闭环负反馈, 使被控量稳定在期望范围内。这在恒压供水、反应釜温度控制、冶金加热炉等连续生产过程中至关重要。

2.3 PLC 在数据采集与监控的应用

可编程逻辑控制器 (PLC) 在工业自动化领域扮演着至关重要的角色, 它是构建监控与数据采集 (SCADA) 系统以及制造执行系统 (MES) 底层数据源的核心和关键组成部分。作为工业现场的重要设备, PLC 承担着多种功能, 确保整个生产流程的顺利进行。

一方面, PLC 可以被看作是一个数据采集的枢纽中心。它能够实时地从各种各样的传感器、仪表以及其他相关设备中收集开关量、数字量和模拟量的数据。这些数据经过初步处理, 例如进行必要的滤波操作以去除噪声干扰, 或者将原始数据转换为具有实际物理意义的工程量, 从而提高数据的可用性和准确性。

另一方面, 在与上位机通信方面, PLC 通过采用诸如工业以太网、OPC UA、OPC DA 等标准化的通信协议, 能够高效且可靠地将经过处理的数据上传至上位机系

统, 如 SCADA 或人机界面 (HMI)、服务器甚至是云端平台。这一过程为生产过程中的实时监控、深入的数据分析、产品质量追溯以及决策优化提供了坚实的基础和依据, 使得企业能够在激烈的市场竞争中保持优势。

2.4 PLC 在故障诊断与保护的应用

系统可靠性与可维护性是机电一体化设备中极为关键的性能指标, 它们直接决定了设备在实际运行中的稳定性和后期维护的便捷性。作为工业自动化领域的重要组成部分, PLC (可编程逻辑控制器) 在故障诊断与保护方面展现了强大的功能, 为设备的安全高效运行提供了重要保障。

实时自诊断与报警: PLC 硬件和软件设计中融入了完善的自诊断机制, 这一机制能够对系统的多个关键环节进行持续监测。例如, 它可以实时检测 CPU 的工作状态是否正常、存储器是否存在错误、I/O 模块是否发生故障、通信链路是否出现中断以及电源供应是否异常等^[2]。一旦发现任何问题, PLC 会立即触发报警机制, 并通过多种方式通知操作人员。这些通知方式包括但不限于 HMI (人机界面) 上的弹窗提示、设备面板上的指示灯闪烁, 或者通过网络将报警信息发送至远程监控终端, 从而确保问题能够被及时发现并处理。

逻辑联锁与安全保护: PLC 通过编写严密且高效的控制逻辑程序, 可以实现设备之间的安全联锁功能。例如, 在某些应用场景中, PLC 能够确保“前门未关闭时主轴无法启动”这样的安全规则得以严格执行。此外, 它还可以实现设备的顺序启停和互锁保护, 避免因操作不当或系统故障导致的意外情况。为了进一步提升安全性, PLC 还可以结合安全继电器或安全型 PLC (如符合 IEC 61508 和 IEC 62061 国际标准的产品), 构建满足 SIL (安全完整性等级) 要求的安全相关控制系统。这些系统广泛应用于急停按钮、安全光幕、双手操作按钮等关键安全功能, 从而为操作人员和设备提供更高层次的保护。

预测性维护支持: PLC 不仅能够实现实时监控和安全保护, 还具备支持预测性维护的能力^[3]。通过长期采集设备运行过程中的各种数据, 例如电机的电流变化、机械部件的振动频率以及设备的温度波动等, PLC 可以对这些数据进行分析, 帮助用户了解设备的运行趋势。基于这些分析结果, PLC 能够为预测性维护提供早期预警, 提醒维护人员在设备发生严重故障之前采取必要的措施。这种方式不仅可以显著降低设备的非计划停机时

间,还能有效延长设备的使用寿命,从而为企业节省大量的维护成本和资源投入。

3 PLC 控制技术应用优化策略

为应对更复杂的应用场景和更高的性能要求,需要对基于 PLC 的机电一体化控制系统进行持续优化。

3.1 模块化设计

硬件模块化:采用分布式 I/O (如 PROFINET IO, EtherNet/IP) 架构,将 I/O 模块就近安装在被控设备附近,仅通过一根网线连接控制器,大幅减少布线成本与复杂性,提高系统扩展性和维护便利性。

软件模块化:遵循 IEC 61131-3 标准,使用功能块 (FB)、函数 (FC) 和程序组织单元 (POU) 进行结构化编程。将重复使用的功能 (如电机控制、阀门控制、PID 回路) 封装成标准功能块,实现代码的高度复用,提高编程效率、可读性和可维护性。

3.2 高级编程语言应用

结构化文本 (ST) 与功能块图 (FBD):对于涉及复杂数学运算、算法实现 (如模糊控制、优化算法) 或数据处理的任务,ST 语言 (类 Pascal) 和 FBD 比传统的梯形图 (LD) 更具优势,代码更简洁、逻辑更清晰。

面向对象编程 (OOP) 扩展:部分先进 PLC 平台 (如 CODESYS, TwinCAT, Siemens TIA Portal 高级版) 开始支持面向对象的编程思想,允许定义类、方法和属性,便于构建更复杂、更易于管理的软件架构,特别是对于大型、可重构的生产系统。

3.3 网络通信与集成

工业以太网统一架构:采用基于 TCP/IP 的工业以太网协议 (如 PROFINET, EtherNet/IP, EtherCAT) 作为主干网络,实现控制层 (PLC 之间、PLC 与驱动器/远程 I/O)、信息层 (PLC 与 SCADA/MES/ERP) 甚至安全网络 (如 PROFIsafe, CIP Safety) 的“一网到底”,简化网络结构,提升数据交互速度和集成度。

OPC UA 与信息技术融合:利用 OPC UA (开放平台通信统一架构) 这一独立于平台、面向服务架构 (SOA) 的通信标准,PLC 可以安全、可靠地向 IT 系统 (如 MES, ERP, 云平台) 提供语义化的上下文数据,打破自动化“金字塔”的信息孤岛,是实现工业 4.0 纵向集成的关

键技术。

3.4 智能化升级

边缘计算能力集成:新一代 PLC 正演变为具备强大边缘计算能力的控制器。它可以在网络边缘侧就近处理海量实时数据,进行本地分析与决策 (如数据压缩、特征提取、简单 AI 推理),仅将结果或必要数据上传,减轻云端负担,降低时延,提升响应速度和数据安全性^[4]。

与人工智能/机器学习结合:通过在 PLC 或连接的边缘计算设备上运行轻量级 AI 模型 (如用于视觉检测的神经网络、用于预测性维护的机器学习算法),使传统控制系统具备一定程度的智能感知、分析与决策能力。例如,利用 PLC 处理来自智能传感器的数据,运行异常检测模型,实现早期故障预警。

4 结语

PLC 控制技术历经半个多世纪的发展,已从单纯的逻辑控制器演进为集逻辑控制、运动控制、过程控制、数据管理与网络通信于一体的综合性自动化平台,在机电一体化系统中发挥着无可替代的核心作用。其高可靠性、灵活性和强大的环境适应能力,使其成为连接机械本体、传感检测、驱动执行与信息管理等子系统的坚实桥梁。

面向未来,在智能制造与工业互联网的浪潮下,PLC 技术的发展将呈现以下趋势:深度网络化,进一步融合 IT 与 OT 技术,成为工业互联网的关键节点;高度智能化,集成更强大的边缘计算与 AI 功能,实现自主决策与优化;开放化与标准化,采用更开放的软硬件架构和统一的数据模型 (如基于 OPC UA 的“自动化 ML”),以降低系统集成复杂度。

参考文献

- [1]何静. PLC 控制技术在机电一体化系统中的应用研究[J]. 中国设备工程, 2025, (22): 103-104.
- [2]余羽翔. 智能控制技术在机电一体化系统中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2025, 54(04): 110-112.
- [3]杨梓嘉, 吕雷. 智能控制技术在机电一体化系统中的应用[J]. 集成电路应用, 2023, 40(06): 132-133.
- [4]陈威. 机电一体化系统中智能控制技术的应用研究[J]. 机械工业标准化与质量, 2023, (02): 26-27.