机电设备自动化改造中的PLC技术应用研究

罗 赟[1,2]
1. 易普力（新疆）矿山工程有限公司准东分公司 新疆 昌吉 831700
2. 易普力（新疆）矿山工程有限公司 新疆 昌吉 831700

摘 要：随着工业4.0战略的深入推进与智能制造理念的广泛实践，机电设备自动化改造已成为传统制造业转型升级的核心路径。可编程逻辑控制器（PLC）作为工业自动化领域的基石性技术，凭借其高可靠性、强抗干扰能力、灵活可编程及良好扩展性等优势，在机电设备自动化改造中发挥着不可替代的关键作用。本文系统梳理了PLC技术的发展脉络与趋势，深入分析了机电设备自动化改造的多维度需求，在此基础上从控制系统架构重构、逻辑与顺序控制优化、过程闭环调节、人机交互集成及网络化协同等层面，全面论述了PLC技术在自动化改造中的核心应用。进一步地，文章探讨了改造实践中面临的兼容性、可靠性、安全性及标准化等关键问题，并提出了相应的优化策略与未来发展方向。研究认为，PLC技术正朝着智能化、网络化、集成化的方向持续演进，其在机电设备自动化改造中的应用将更加深入和广泛，为制造业高质量发展提供坚实的技术支撑。

关键词：可编程逻辑控制器；机电设备；自动化改造；工业控制；智能制造

引言

全球制造业正经历数字化、网络化、智能化的深刻变革。我国大量机电设备因服役年限长、控制方式落后，存在效率低、能耗高、柔性不足及信息孤岛等问题，难以适应现代生产需求。对既有机电设备进行自动化改造而非重建，是提升存量资产价值的经济理性选择。在此背景下，可编程逻辑控制器（PLC）凭借其在计算机、通信及微电子技术上的持续融合创新，确立了在自动化改造中的核心地位。本文旨在通过理论化、系统化分析，构建机电设备自动化改造中PLC技术的应用框架。文章首先概述PLC基础与发展趋势，接着分析改造的多维需求，系统论述PLC的核心应用，探讨关键问题与优化策略，最后总结并展望未来，以期为改造实践提供理论指导，并为后续研究提供参考。

1 PLC 技术概述与发展趋势

1.1 PLC的基本原理与特点

PLC是面向工业控制的专用计算机，由中央处理单元、存储器、输入输出接口、电源及编程装置构成。CPU执行用户程序，进行逻辑运算与数据处理；存储器存放系统/用户程序及数据；I/O接口负责信号采集与指令输出。相较通用计算机，PLC在可靠性、抗干扰、实时性和编程便利性上优势突出，平均无故障工作时间可达数万至数十万小时，适应恶劣工业环境。编程语言包括梯形图、指令表、顺序功能图、功能块图和结构化文本，其中梯形图因接近继电器电路而最易掌握。多层次的编程体系既降低门槛，又兼顾复杂算法实现，是PLC广泛普及的关键因素。

1.2 PLC的主要发展趋势

当前PLC技术呈现四大趋势：一是智能化，逐步融合模糊控制、神经网络、预测控制等算法，具备自学习、自适应和自优化能力；二是网络化，借助工业以太网和OPC UA等协议，从封闭系统走向开放互联，实现与MES、ERP纵向贯通及与智能设备横向互联；三是集成化，与监控、数据处理、运动控制、视觉识别等功能高度集成，单平台可替代多个专用控制器；四是安全可靠性强化，功能安全PLC的广泛应用有效保障人员与设备安全。这些趋势直接影响自动化改造的技术选型，是制定改造方案的重要依据。

2 机电设备自动化改造的需求分析

2.1 控制性能提升需求

从控制性能维度来看，传统机电设备多采用继电器接触器控制或单板机控制，逻辑关系固化，时间精度较低，难以满足现代工艺对控制精度、响应速度和运行稳定性的苛刻要求[1]。自动化改造的首要目标即在于以PLC的高精度定时器、高速计数器和快速响应机制替代落后的控制方式，实现微秒级的时间控制精度和毫秒级的系统响应速度，从而显著提升设备的运行品质。

2.2 柔性化生产需求

从柔性化生产维度来看，市场需求的多变要求机电设备能够快速切换生产品种、灵活调整工艺参数。传统控制方式下，工艺变更往往需要重新布线或修改硬件配置，耗时费力。PLC技术的引入使得控制逻辑以软件形式

存在，只需修改用户程序即可实现功能的重新定义，大大增强了设备的柔性适应能力。这种软件定义控制的理念，正是自动化改造的核心价值所在。

2.3 信息化管理需求

从信息化管理维度来看，孤岛化的设备运行状态无法被上层管理系统感知和利用，制约了企业整体信息化水平的提升。自动化改造要求机电设备具备数据采集与通信交互能力，能够将运行状态、生产数据、故障信息等实时上传至管理层。PLC自身强大的通信功能和丰富的数据接口，恰好满足了这一需求，成为连接设备层与控制层、管理层的信息枢纽。

2.4 经济性与可维护性需求

从经济性维度来看，完全更换新设备的一次性投入过高，而基于PLC的改造方案具有投资相对较低、周期较短、见效较快的特点，能够以较小代价实现设备性能的显著提升。同时，PLC系统具有良好的可扩展性和可维护性，便于后续的持续升级。从操作维护维度来看，PLC配合触摸屏或上位机组态软件，能够构建直观友好的图形化操作界面，降低对操作人员技术经验的依赖，提高了维护效率。

3 PLC 技术在自动化改造中的核心应用

3.1 控制系统架构的重构

在系统架构层面，PLC技术的应用实现了机电设备控制体系的根本性重构。传统继电器控制系统采用硬接线逻辑，控制功能固化于物理连接之中，线路复杂、触点繁多、故障率高。以PLC为核心的新型控制系统将逻辑判断功能从硬件线路转移至软件程序，输入输出仅需保留必要的信号采集与驱动线路，使控制柜体积显著缩小，接线工作量大幅减少。更重要的是，基于PLC的集中式或分布式控制架构使得系统的可修改性和可扩展性得到质的飞跃，为后续的功能升级预留了充分空间。

3.2 逻辑控制与顺序控制的优化

在逻辑与顺序控制层面，PLC展现出得天独厚的优势。机电设备的运行往往涉及复杂的联锁条件和严格的动作时序要求。PLC的梯形图编程方式继承了继电器控制的思维方式，使电气工程技术人员能够平滑过渡到新的控制模式，同时提供了远为丰富的逻辑运算能力和定时计数功能[2]。利用PLC的内部辅助继电器、定时器、计数器等软资源，可以方便地实现复杂的联锁保护、顺序互锁、时间延时和计数控制，且触点数量不受物理限制，逻辑关系一目了然。在步进控制方面，PLC的顺序功能图编程方式能够清晰描述设备的工序流程，使得多工序、多工位的协调控制变得简单高效。

3.3 闭环控制与过程调节的实现

对于涉及温度、压力、流量、速度等连续物理量控制的机电设备，PLC的模拟量处理与闭环控制功能具有重要意义。现代PLC普遍配备模拟量输入输出模块，能够直接接入各类传感器信号并输出模拟量驱动执行机构。配合PID运算等闭环控制算法，PLC能够实现高精度的过程参数自动调节。与传统的仪表调节器相比，PLC实现的数字PID控制具有参数整定灵活、控制策略多样、便于与其他控制逻辑集成的优点。在改造实践中，PID参数的整定需要综合考虑执行机构特性、被控对象滞后性和控制品质要求，这是理论与实践密切结合的过程。

3.4 人机交互与状态监视的集成

人机交互能力的提升是自动化改造带来的直观变化之一。PLC与触摸屏或工业组态软件的配合使用，构建了功能完善的监控界面。操作人员可以通过图形化界面实时观察设备运行状态、工艺参数趋势和报警信息，并在线修改控制参数或切换运行模式[3]。这种可视化的交互方式不仅提升了操作的便捷性和安全性，更重要的是实现了设备运行信息的透明化，使操作人员能够及时发现异常、追溯历史数据，为工艺优化和故障诊断提供了有力的数据支撑。

3.5 网络通信与系统协同的拓展

在设备级和车间级的互联互通方面，PLC的网络通信功能发挥着不可替代的作用。当前主流PLC产品均支持多种通信协议和现场总线标准，如Modbus、Profibus、DeviceNet及工业以太网等。在自动化改造中，通过网络接口将多台PLC连接起来，可以实现设备间的数据交换与协同控制；将PLC接入车间级局域网，则可以实现集中监控和远程运维。更进一步，通过OPC服务器或专用网关，PLC采集的设备运行数据可以上传至制造执行系统或工业云平台，为生产管理、质量追溯和设备预测性维护提供数据基础，从而将单台设备的自动化改造提升到车间乃至工厂整体信息化建设的高度。

4 自动化改造中 PLC 应用的关键问题

4.1 兼容性与接口匹配问题

兼容性问题是改造工程中首当其冲的挑战。老旧机电设备的传感器、执行器往往采用不同电压等级和信号类型，而现代PLC的输入输出模块有特定的信号规范。改造时需要合理选配信号转换模块或中间继电器，必要时需更换部分检测与执行元件，以实现新旧设备之间的信号匹配和电气兼容。同时，需对原有设备的机械接口、安装空间等进行充分调研，确保PLC控制柜及模块的物理安装可行。

4.2 可靠性与环境适应性挑战

可靠性与环境适应性是贯穿改造全过程的关注焦点。虽然PLC本身具有很高的可靠性，但改造后的系统整体可靠性取决于各个环节——包括传感器、执行器、电源、通信线路及软件程序等。在改造方案设计中，应充分考虑电磁兼容、供电稳定性、接地防护和冗余配置等问题[4]。特别是对于连续运行的关键设备，CPU冗余、电源冗余和通信冗余等容错设计可能是必要的。此外，改造工程中新增的电子设备必须适应现场的温度、湿度、振动和粉尘等环境条件。

4.3 编程规范与程序可维护性

编程规范与程序可维护性直接关系到改造后设备的长期运行效果。PLC程序的质量不仅取决于控制逻辑的正确性，还涉及程序结构的清晰性、注释的完整性、变量命名的规范性和数据组织的合理性。在改造实践中，应确立统一的编程规范，合理划分主程序、子程序和中断程序，做好版本管理。良好的程序可维护性使得后续的故障排查和功能修改更加便捷，降低了因人员变动带来的技术风险。

4.4 功能安全与标准符合性

功能安全问题在人员频繁交互的机电设备改造中尤为重要。ISO13849和IEC62061等标准对机械安全相关控制系统的性能等级和安全完整性等级提出了明确要求。在改造中应用安全型PLC或采用标准PLC配合安全继电器的方式，实现紧急停止、安全门监控、双手操作等安全功能，是保障改造项目合规性和人员安全的必要措施。

5 优化策略与未来发展方向

5.1 改造实施的优化策略

针对上述关键问题，可以从以下几个方面提出优化策略。在技术选型策略上，应遵循适度超前、模块化配置的原则，在满足当前需求的前提下为未来扩展预留接口和容量。在改造实施策略上，建议采取分阶段、分模块的递进式改造路径，先完成核心控制单元的改造，再逐步拓展外围功能，以降低改造风险、缩短停产损失。在人才培养策略上，应同步推进技术人员PLC编程与维护能力的培训，形成自主运维的技术力量。

5.2 未来技术发展趋势

展望未来，PLC技术在机电设备自动化改造中的应用将呈现以下趋势。其一，IT与OT的深度融合将使PLC系统更加开放，支持OPCUAoverTSN等新一代通信标准，实现确定性与非确定性数据的统一传输。其二，边缘计算能力的嵌入将使PLC在靠近设备端即可完成数据预处理和初步分析，减轻云端负担并提高响应实时性。其三，人工智能技术与PLC的结合将从实验室走向现场，使改造后的设备具备故障预测、参数自整定和能效优化等智能功能。其四，数字孪生技术的引入将使得改造方案的虚拟验证成为可能，在物理改造实施之前即可通过数字模型对控制逻辑和工艺参数进行仿真优化，进一步提升改造的成功率和效率。

结束语

机电设备自动化改造是制造业转型升级过程中的重要实践领域，PLC技术作为其中的核心技术支撑，展现出不可替代的应用价值。本文从PLC技术特征与发展趋势出发，结合机电设备自动化改造的多维需求，系统分析了PLC在控制系统重构、逻辑优化、闭环调节、人机交互及网络协同等方面的核心应用，并对改造中的关键问题和优化策略进行了深入探讨。研究表明，PLC技术的有效应用不仅能够实现机电设备控制性能的全面提升和柔性化生产能力的显著增强，更能打通设备层与信息层之间的数据通道，为智能制造奠定坚实基础。随着PLC技术自身的持续演进以及与新一代信息技术的深度融合，其在机电设备自动化改造中的应用前景将更加广阔，有望在推动制造业高质量发展的进程中发挥更加积极的作用。

参考文献

[1]王海燕,张建华.基于PLC的工业控制系统可靠性设计与优化[J].制造业自动化,2022,44(7):156-160.

[2]刘卫东,陈思远,李明.面向智能制造的PLCopen规范及其应用研究[J].自动化仪表,2023,44(3):1-6.

[3]陈志强,吴建华.工业4.0背景下PLC技术的发展趋势与挑战[J].电气传动,2021,51(12):72-78.

[4]赵瑞峰,孙立宁.基于PLC与工业以太网的分布式控制系统研究[J].组合机床与自动化加工技术,2022(8):112-116.