

基于PLC的自动化生产线控制系统设计与实现

胡小金

江西鑫昌畜牧设备有限公司 江西南昌 330200

摘要：随着制造业智能化与自动化水平的不断提升，基于可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller, PLC）的自动化生产线控制系统逐渐成为工业生产的重要支撑。本文在分析PLC控制技术发展现状的基础上，系统阐述了自动化生产线的功能需求、总体架构与控制逻辑设计，并结合具体案例探讨了系统的实现路径与优化策略。研究表明，基于PLC的控制系统能够有效提升生产效率与产品质量，降低人工成本与安全风险，并具备较强的扩展性与适应性。本文的研究对现代制造业的智能化转型具有重要的理论价值与实践指导意义。

关键词：PLC；自动化生产线；控制系统；系统设计；智能制造

引言

工业自动化是实现制造业转型升级的核心驱动力，而PLC控制系统因其高可靠性、灵活性和实时性，已成为自动化生产线的核心控制单元。相比传统的继电器逻辑控制，PLC不仅在体积、可靠性和维护性上表现突出，还能够通过模块化编程实现复杂控制逻辑，从而满足柔性制造和智能化生产的需求。近年来，随着工业4.0和中国“智能制造2025”战略的提出，自动化生产线的智能化与网络化程度不断提高，PLC与传感器、执行机构、上位机以及信息化平台的集成成为重要研究方向。本文拟从系统设计与实现的角度，对基于PLC的自动化生产线控制系统展开深入探讨。

一、理论基础与技术背景

1. PLC控制技术的发展与特征

可编程逻辑控制器（PLC）自20世纪60年代末由美国通用汽车公司提出后，历经多次软硬件革新：早期以取代继电器逻辑为目标，功能单一，仅用于顺序控制与简单开关量处理；随工业自动化发展，已升级为集数据处理、模拟量控制、运动控制、网络通信于一体的综合性控制平台。

硬件上，CPU运算速度与存储容量大幅提升，I/O模块类型更丰富，可高效采集处理多种信号；软件上，梯形图（LD）、功能块图（FBD）等多语言编程方式被广泛应用，适配不同场景需求。

应用中具四大显著优势：一是工业级设计（光电隔离、冗余电源等）带来高可靠性与抗干扰性，适配恶劣工业环境；二是模块化设计可灵活配置，避免传统继电

器线路频繁改造的局限；三是编程简便，非计算机专业人员也能通过梯形图快速实现控制；四是集成工业以太网、Modbus等通信协议，可与现场设备及SCADA、MES等系统衔接，成为智能制造核心枢纽。

2. 自动化生产线的构成与功能需求

自动化生产线是由多种设备、控制单元与信息平台组成的复杂系统，旨在通过机械化和信息化替代或部分替代人工，实现高效、稳定、柔性生产。典型生产线包含输送与搬运系统、加工与装配单元、检测与分拣环节、仓储及物流模块，以及上层信息管理系统；其中PLC主要负责逻辑控制、数据采集、动作协调与安全保护。

功能需求上，一是生产节拍控制，作为核心指标，要求各工位按既定节拍协调运行以保障效率与产品一致性，PLC通过顺序控制和时间调度维持整体节奏；二是状态监测与报警，PLC实时采集传感器信号，监控温度、压力等关键参数，超限时触发报警或停机保护，以提升系统稳定性；三是柔性化调整，无需更换主要硬件，通过修改程序即可实现多品种、小批量生产切换，满足定制化需求；四是安全保护，PLC借助急停回路、互锁机制、冗余控制等降低设备故障与人员伤害风险，符合安全规范。

二、系统设计

1. 系统总体架构

基于PLC的自动化生产线控制系统通常采用分层与分布式相结合的总体架构，以实现高效、稳定与灵活的控制。整体上可分为三个层次设备层、控制层与管理层。在设备层，主要包括传感器、执行机构与驱动装置等物理部件，是系统获取信息与实现动作的基础。传感器负

责实时采集生产过程中的温度、压力、速度、位置及电流等参数；执行机构则包括电动机、液压缸、气动元件与机械手等，其作用是将控制信号转化为实际操作。

在控制层，PLC作为核心控制单元承担逻辑运算、数据处理与顺序控制的任务。为保证系统稳定性与可扩展性，常采用主控PLC与分布式I/O站结合的方式。主控PLC负责整体协调与复杂逻辑处理，而分布式I/O则减少了布线距离与信号延迟，提高了系统响应速度。在管理层，上位机（Industrial PC）、HMI（人机界面）、SCADA与MES系统相互配合，实现信息的可视化管理与优化调度。HMI提供了直观的操作界面，使操作人员能够实时监控生产状态；SCADA系统负责数据采集与监控，保障生产安全；而MES系统则将生产计划、物料管理与绩效评价纳入控制体系，从而形成“管理—控制—执行”的闭环架构。该三层架构不仅实现了分工明确与逻辑清晰，还为后续引入人工智能算法、数字孪生模型与工业互联网应用提供了良好接口。

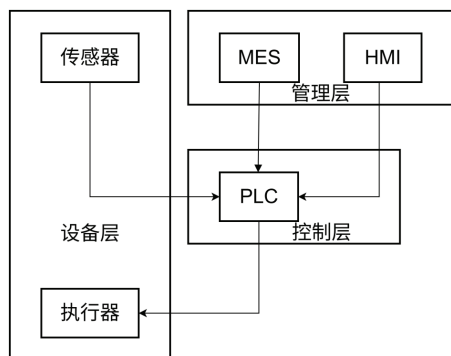


图1 基于PLC的自动化生产线控制系统三层架构

本图1以三层最小拓扑展示了基于PLC的生产线控制路径，管理层（MES/HMI）下达计划与指令，控制层（PLC）执行逻辑与协调，设备层完成感知与动作反馈，实现从计划到执行的闭环控制。

2. 硬件设计

硬件设计是系统实现的物质基础，其科学性直接决定了控制系统的稳定性与扩展能力。硬件部分主要由PLC主机、I/O模块、通信模块、电源模块、控制柜与外围设备组成。第一，在PLC主机的选择上，应根据生产线规模、控制逻辑复杂度与通信需求进行匹配。例如，对于中小型生产线，西门子S7-1200、三菱FX系列PLC即可满足需求；而在大型生产线或多工艺复杂联动的场合，则需选用S7-1500、欧姆龙NJ系列等高性能机型。第二，I/O模块配置需考虑点数、信号类型与冗余要求。开关量I/O用于工位启停、状态检测与互锁控制；模

拟量I/O用于温度、流量、压力等连续信号的采集与调节。为了提升系统灵活性，常采用模块化结构，使系统能够在后期扩展时仅通过增加相应模块即可实现功能升级。第三，通信模块是系统网络化的关键。现代PLC普遍支持Ethernet、Profibus、CANopen等协议，部分还内置Profinet接口，以实现与变频器、机器人及其他智能设备的高速通信。在设计中，需根据生产节拍与数据量合理规划通信拓扑结构，避免网络拥塞与数据延迟。第四，电源模块与控制柜布局需满足电气安全与抗干扰要求。例如，应设置独立的24V直流电源供PLC与I/O模块使用，避免与大功率设备共用电源而引起电磁干扰；控制柜内部应采用屏蔽线缆与合理接地，保证信号传输的准确性。

3. 软件与控制逻辑设计

软件设计是系统灵魂，其合理性决定控制逻辑的可靠性与可维护性。PLC程序采用模块化、分层次设计，分为输入处理层、逻辑控制层与输出执行层：

输入处理层：采集、滤波、预处理传感器信号，如用滑动平均算法消除温度传感器模拟量噪声，为光电开关数字信号加去抖动逻辑防虚假触发；

逻辑控制层：结合顺序控制（实现生产工序有序衔接，如输送带启动、工件定位等动作先后关系）与状态机（处理复杂多分支逻辑及异常工况，确保系统故障或物料缺失时自动切至安全状态）；

输出执行层：将逻辑结果转化为执行机构控制指令，如用PWM控制电机转速、PID算法调节温度压力，部分逻辑采用事件驱动机制避免轮询浪费CPU资源。

此外，PLC软件需结合HMI进行参数设定与报警管理：操作人员可在HMI调整工艺参数、查看设备状态及历史数据；报警系统提供分级报警与日志记录，便于快速定位问题。

4. 安全与冗余设计

在工业自动化系统中，安全性与可靠性始终是首要考虑因素。为此，PLC控制系统需引入多重安全与冗余设计。在电气安全方面，应设置急停回路、过载保护与接地保护。急停回路需采用双通道设计，并通过安全继电器或安全PLC进行逻辑判定，确保任何单点故障都不会导致失效。在系统冗余方面，常见的策略包括双PLC冗余、通信冗余与I/O冗余。双PLC冗余通过主—备控制器并行运行实现，当主PLC故障时备机能够无缝接管控制任务；通信冗余则采用双网卡或环网结构，保证网络链路可靠；I/O冗余则在关键传感器与执行机构上配置双

套模块，以防止因单点失效而造成生产停顿。在软件安全设计中，应引入互锁机制。例如，在机械手未完成复位之前，输送带不得启动；在液压缸未完全伸出之前，切割装置不得工作。通过多级互锁逻辑，可有效避免设备之间的相互干扰与误操作。

最后，在功能安全方面，应遵循IEC 61508标准，对系统进行安全完整性等级（SIL）评估，并通过硬件冗余、软件容错与周期性检测来满足相应等级要求。这不仅提高了系统的容错能力，还为企业通过安全认证与进入国际市场提供了技术保障。

三、系统实现与优化

1. 硬件组态与安装

系统实现的第一步是硬件组态与安装。根据生产线工艺需求，工程师需在设计阶段完成PLC型号、I/O模块与通信接口的选型与配置，并在实际安装中进行合理布局。组态过程中，应在软件环境中完成I/O点地址分配，并为不同的传感器、执行机构建立逻辑通道。例如，温度传感器的模拟量信号应配置为AI通道，电机启停信号则配置为DI/DO通道。在安装环节，控制柜的设计与布线是关键。首先，应将PLC主机、通信模块与电源模块集中安装在控制柜上，并与外部设备通过端子排连接，以减少维护难度。其次，布线过程中需严格遵循电磁兼容性（EMC）原则：强电与弱电分开布线，信号线加装屏蔽层，并确保接地系统统一。对于高速采集与伺服控制等敏感环节，需设置隔离模块以降低干扰。系统安装还需兼顾可维护性与可扩展性。例如，控制柜内部应预留10%—20%的空间与端子容量，以满足后期的工艺扩展；模块之间的连接应标注清晰，以便在检修时快速定位问题。这些细节设计直接影响到系统长期运行的稳定性与维护效率。

2. 软件编程与信息集成

硬件完成后，软件编程与调试是系统实现的核心环节。PLC程序的开发遵循分层、模块化和可移植性原则，主要包括主程序、子程序与中断程序三部分。在主程序中，通常采用顺序控制逻辑实现生产节拍。如输送带运行→工件定位→机械手抓取→检测模块触发→成品下线，各环节按照既定时间和条件依次执行。为了避免工序间的逻辑冲突，程序中设置了互锁条件，如在工件未定位完成时禁止机械手动作。子程序用于实现特定功能模块，如PID调节、数据采集与报警处理。通过调用

子程序，可以减少代码冗余并提高可读性。中断程序则适用于紧急或高优先级任务，例如急停信号的响应、电机过载的实时保护。调试阶段分为离线仿真与现场调试。在离线仿真中，工程师利用PLC编程软件的仿真功能，验证逻辑正确性、时序合理性与互锁有效性。现场调试则更注重系统与实际设备的匹配，包括传感器校准、执行器动作检查以及通信接口的验证。在此过程中，需不断对工艺参数进行调整，确保系统在实际生产中运行平稳可靠。

现代自动化生产线不仅要求设备层动作的准确与高效，还强调控制层与管理层的信息互通。因此，通信与信息集成是系统实现的重要部分。在设备层与PLC之间，常用的通信方式包括Modbus、Profibus、Profinet与EtherCAT等现场总线协议。它们能够保证高速、实时的数据交换，并支持多节点的协同控制。在控制层与管理层之间，则主要采用工业以太网与OPC UA等标准化协议，实现与上位机、SCADA及MES系统的数据交互。

通过通信集成，系统能够实现其一，HMI与上位机实时显示生产状态，包括设备运行参数、产量统计与报警信息；其二，MES系统能够下达生产计划与工艺配方，PLC根据指令调整逻辑控制；其三，能源管理系统能够实时获取能耗数据，分析生产过程中的节能空间。

结论

本文围绕基于PLC的自动化生产线控制系统，系统分析了技术背景、系统设计、实现过程与优化路径，并结合实际案例进行了效果验证。研究表明，基于PLC的控制系统不仅能够显著提升生产效率与质量，还具备较强的柔性化与扩展性，为制造业的数字化与智能化转型提供了可行方案。如今随着工业互联网与人工智能技术的进一步发展，基于PLC的自动化生产线控制系统将朝着更高层次的智能化与自适应方向演进。

参考文献

- [1] 张伟, 刘容. 基于PLC的自动化生产线控制系统设计与优化[J]. 数字化用户, 2024(27): 33-34.
- [2] 万成谿, 殷玉亮. 基于PLC的自动化生产线控制系统优化设计[J]. 中国航班, 2025(16): 79-81.
- [3] 苗子宁. 基于PLC的自动化生产线控制系统设计[J]. 信息记录材料, 2023, 24(8): 173-175, 179.