基于 PLC 的自动化生产线控制系统设计与应用

李然康

重庆川仪自动化股份有限公司智能控制系统分公司 重庆 400707

【摘　要】：PLC 控制技术在自动化生产线中的应用，能够有效提升设备联动控制水平和生产运行效率。围绕自动化生产线控制需求，分析 PLC 控制系统的总体结构、硬件配置、软件设计及运行流程，探讨其在物料输送、工序控制、故障报警和人机交互等环节中的应用价值。合理设计控制程序与系统模块，可增强生产线运行的稳定性、可靠性和可维护性，为企业实现自动化、智能化生产提供技术支持。

【关键词】：PLC 控制；自动化生产线；控制系统；程序设计；人机交互

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.005

引言

工业生产对效率、质量和安全性的要求不断提高，传统人工控制方式已难以满足连续化、精密化生产需求。PLC 凭借稳定性强、抗干扰能力好、编程灵活和维护方便等优势，广泛应用于自动化生产线控制领域。围绕 PLC 的自动化生产线控制系统设计与应用展开研究，有助于优化设备运行流程，提高生产线协同控制能力，降低故障率和人工干预强度，推动生产过程向高效化、智能化方向发展。

1 PLC 控制系统在生产线运行中的技术适配

1.1 生产线连续运行对控制系统的需求

自动化生产线通常由输送装置、加工单元、检测机构、分拣设备、执行元件和安全保护装置等部分组成，各环节之间存在较强的顺序关系和节拍约束。连续运行状态下，控制系统需要在较短时间内完成信号采集、逻辑判断、指令输出和状态反馈，保证物料能够按照设定路线稳定传送，设备能够按照工艺要求完成启停、定位、夹持、加工、检测和输送等动作。若控制系统响应速度不足，容易造成工位等待、物料堆积、动作错位或设备空转，影响整条生产线的运行效率。PLC 控制系统具备循环扫描、逻辑运算和实时控制能力，能够对传感器信号、限位开关状态、电机运行参数、气缸动作位置等信息进行集中处理，使生产线各工位保持协调运行。在连续化生产过程中，控制系统还需要具备较强的抗干扰能力，避免电磁干扰、设备振动、环境温湿度变化等因素影响信号判断。通过 PLC 对运行节拍、动作顺序和安全联锁进行统一控制，可使生产线在长时间运行中保持较高稳定性，满足批量化生产对效率、质量和安全性的综合要求。

1.2 PLC 控制结构与设备联动关系

PLC 控制系统在自动化生产线中通常采用“输入采集—程序处理—输出控制—状态反馈”的结构形式。输入端主要接收光电传感器、接近开关、行程开关、按钮、急停装置、温度压力检测元件等信号，作为判断设备状态和工艺进程的基础。中央处理单元根据预设程序完成逻辑运算、顺序控制、计时计数和数据处理，并将控制指令传递至输出端。输出端则驱动电机、变频器、电磁阀、指示灯、报警器、机械手、输送带等执行机构，使各类设备按照生产节拍完成联动动作[1]。设备联动关系的核心在于工序之间的准确衔接，上料完成后触发输送装置运行，物料到达指定位置后启动定位夹紧机构，检测合格后进入下一加工单元，不合格品则通过分拣机构剔除。PLC 通过程序逻辑将分散设备连接成统一控制整体，避免单台设备独立运行造成流程断点。为增强系统适应性，控制结构中还可设置手动、自动、暂停、复位、故障处理等运行模式，便于调试、检修和异常恢复。人机界面与 PLC 连接后，能够显示设备状态、工艺参数、报警信息和运行数据，使操作管理更加直观，为生产线联动控制提供清晰的信息支撑。

1.3 控制精度与运行稳定性的匹配要求

自动化生产线对控制精度的要求不仅体现在单个设备动作是否准确，还体现在多个工位之间的节拍一致性、位置重复性和运行同步性。PLC 控制系统需要根据工艺流程设定合理的动作时序，使输送、定位、加工、检测和分拣等环节在规定时间内完成，避免因延迟、误动作或信号丢失导致生产中断。在物料定位环节，控制程序需要结合传感器检测信号和执行机构动作状态，对停止位置、夹紧时间、释放顺序进行精确控制；在电机驱动环节，可通过 PLC 与变频器配合实现速度调节，使输送过程更加平稳；在气动或液压执行环节，则需要通过限位反馈确认动作到位后再启动下一步骤，防止机构冲突。运行稳定性要求控制系统能够在负载变化、长时间运行和异常干扰条件下保持可靠输出，因此程序设计中应加入互锁保护、故障报警、超时判断和急停联锁等内容。控制精度与稳定性之间需要形成匹配关系，过于简单的控制逻辑难以满足复杂工艺要求，过度复杂的程序结构又可能增加维护难度。通过模块化程序设计、参数化设置和分级保护机制，可提高控制过程的准确性和系统运行的可靠性，使生产线在高频次、连续性作业中保持稳定节拍和较低故障率。

2 自动化生产线控制薄弱环节及优化路径

2.1 设备协同控制中的响应滞后

自动化生产线在多设备并行运行过程中，响应滞后主要表现为信号采集延迟、执行机构动作延迟、工位切换不及时和上下游设备节拍不一致。输送带、机械手、定位夹具、检测装置和分拣机构之间需要按照固定顺序完成动作，任何一个环节的响应时间超过设定范围，都会造成物料等待、重复检测、夹持不到位或工序衔接中断。PLC 控制系统虽然具备较强的实时控制能力，但在程序结构复杂、输入输出点数量较多、通信数据频繁交换的情况下，扫描周期会受到影响，进而降低指令响应速度。部分生产线在设计阶段过于重视单机设备功能，忽视整体节拍匹配，导致不同设备之间的启停条件、反馈时间和动作顺序缺乏统一协调。针对这一问题，应根据生产工艺流程重新梳理关键节点，将上料、传输、加工、检测、剔除等环节划分为连续控制单元，并通过定时控制、互锁逻辑和状态反馈优化设备协同关系。对于高速运行或定位要求较高的环节，可采用高速计数模块、伺服控制单元和通信优化方案，减少信号传递过程中的等待时间。合理压缩无效动作间隔、设置缓冲工位和优化程序执行顺序，能够降低设备之间的响应偏差，使生产线保持稳定节拍运行。

2.2 故障诊断与报警机制不完善

生产线运行过程中，故障诊断与报警机制不完善容易导致异常信息识别不及时、故障位置判断不准确和维修处理周期延长。常见问题包括传感器信号异常未被及时识别，电机过载、气压不足、执行机构不到位、物料卡滞等故障仅以简单停机方式呈现，缺少明确的故障分类和原因提示。部分 PLC 控制系统只设置基本急停和报警灯提示，未能将故障代码、发生时间、设备编号、处理建议等信息进行系统记录，操作人员难以快速判断故障来源。自动化生产线由多个设备单元组成，单一故障可能引发连续反应，物料未到位会导致夹具无法动作，夹具不到位又会影响加工单元启动，若报警逻辑缺乏层级划分，容易出现多点报警同时触发，使故障排查更加复杂。改进过程中，应在 PLC 程序中设置状态监测、超时判断、异常联锁和分级报警功能，对不同类型故障进行编号管理。人机界面可同步显示故障名称、发生位置、当前状态和复位条件，并保留历史报警记录，为设备维护提供依据。对于关键设备，可增加运行参数采集功能，对电流、温度、压力、速度等数据进行监控，提前发现异常变化，减少突发停机对生产连续性的影响。

2.3 程序模块化与人机交互优化方法

PLC 程序设计的模块化程度直接影响自动化生产线的调试效率、维护便利性和功能扩展能力。传统控制程序若采用单一线性编写方式，容易出现逻辑层次混乱、变量命名不清、动作条件交叉和故障处理分散等问题，一旦生产线工艺调整或设备增加，程序修改范围较大，容易引发新的控制错误。模块化设计可按照功能单元划分程序结构，将输送控制、定位夹紧、加工控制、检测判断、分拣处理、报警保护、手动调试等部分独立编写，并通过统一变量和状态标志实现模块之间的数据交互[2]。这样的设计方式能够使程序逻辑更加清晰，便于定位故障段落和调整控制参数。人机交互优化则需要围绕生产操作、状态监控和维护管理展开。触摸屏界面应设置运行状态显示、工位信息展示、参数设定、手自动切换、报警查询和权限管理等功能，避免操作界面信息过多或按钮布局混乱。关键参数应采用分级权限控制，防止误操作影响设备运行。对于常用操作，可通过图形化流程界面显示设备当前位置、动作状态和生产数量，使操作人员能够直观掌握生产线运行情况。程序模块化与人机界面优化结合后，可提高控制系统的可读性、可维护性和操作便捷性，为后期工艺升级和设备扩展提供稳定基础。

3 PLC 控制系统应用成效与发展方向

3.1 生产线控制流程的优化表现

PLC 控制系统应用于自动化生产线后，控制流程的优化主要体现在工序衔接更加紧密、动作执行更加有序、生产节拍更加稳定。以典型装配或加工生产线为例，物料进入上料区域后，传感器对到位状态进行检测，PLC 根据检测信号控制输送装置启动，并在物料到达定位点时发出停止、夹紧或转运指令。加工完成后，系统依据检测结果控制合格品进入下一工序，不合格品则由分拣机构导入指定通道。整个流程由 PLC 程序统一调度，减少了人工判断和手动切换环节，使物料流转路径更加清晰。控制流程优化还体现在异常状态下的自动保护能力，当某一工位出现物料不到位、机构未复位或检测信号异常时，系统能够暂停相关设备动作，避免后续工序继续运行造成设备干涉。将生产动作转化为可编程控制逻辑，生产线能够按照设定工艺路线持续运行，减少空转、等待和重复搬运等无效过程。流程参数也可根据产品规格进行调整，输送速度、夹紧时间、检测间隔和分拣延时均可在程序或人机界面中设定，使同一生产线具备一定柔性适配能力，更好满足多批次生产需求。

3.2 系统运行效率与维护水平提升

PLC 控制系统对运行效率的提升，主要来源于设备动作时间的精确控制、生产节拍的合理压缩和运行数据的集中管理。生产线各工位在 PLC 统一控制下，可按照设定顺序完成连续动作，减少人工操作造成的时间波动。输送、定位、加工、检测和分拣等环节通过信号反馈形成闭环控制，能够及时确认设备状态，避免因动作未完成而盲目进入下一步骤。与传统继电器控制方式相比，PLC 程序修改更加灵活，控制逻辑调整不需要大量改变硬件线路，有利于缩短调试周期和改造时间。在维护管理方面，系统能够通过输入输出状态监控、报警信息记录和运行参数显示，为故障排查提供依据[3-5]。当某一气缸无法到位

时，可通过 PLC 状态表判断是传感器故障、气压不足还是执行机构卡滞；当电机频繁过载时，可结合运行电流和负载变化分析原因。维护人员不再依赖单纯经验判断，而是依据系统反馈信息进行定位处理。建立设备运行记录、报警历史和参数管理机制，可提高维修工作的针对性，降低停机时间。PLC 系统还便于后期扩展新的检测模块、执行单元或通信设备，使生产线维护和升级更加便捷。

3.3 智能化控制技术的融合趋势

自动化生产线控制正在由单一逻辑控制向数据化、网络化和智能化方向发展，PLC 作为现场控制核心，逐渐与传感检测、工业通信、人机界面、伺服驱动和上位机管理系统形成协同关系。现代生产线不仅要求设备完成启停和顺序动作，还需要对运行数据、设备状态、产品质量和能耗信息进行采集分析。PLC 可通过工业以太网、现场总线等通信方式与变频器、伺服控制器、视觉检测设备、条码识别装置和 MES 系统连接，实现生产数据上传和控制指令下发。视觉检测技术的引入，可提高产品外观识别、尺寸检测和缺陷判断能力；伺服控制技术的应用，可提升定位精度和运动控制平稳性；数据采集系统能够记录设备运行时长、产量、报警次数和关键工艺参数，为生产管理提供参考。智能化融合还体现在预测性维护方面，对电机温度、振动、电流、气压等数据进行连续监测，可提前发现设备性能下降趋势，减少突发故障。PLC 控制系统在未来应用中将更加注重开放通信、模块扩展和数据协同，使生产线由自动执行逐步转向状态感知、过程优化和智能决策。

4 结语

PLC 控制技术与自动化生产线的深度结合，能够有效提升设备协同控制能力、运行稳定性和生产效率。合理配置硬件结构、优化程序逻辑、完善故障报警机制和强化人机交互功能，可使生产线在连续作业中保持稳定节拍，减少停机与误动作问题。随着工业通信、视觉检测、伺服控制和数据采集技术的融合应用，PLC 控制系统将进一步提高生产过程的智能化水平，为制造企业实现高效、安全、柔性化生产提供可靠支撑。

参考文献：

[1] 贺银平.人工智能在自动化生产中的作用分析[J].科技与创新,2025,(24):71-73+76.

[2] 张秋雪,陈卫,罗贵旭.非标自动化领域专利保护的现状与实践路径[J].江苏科技信息,2025,42(24):107-112+125.

[3] 叶明武.电气自动化生产线的智能调控技术[J].江苏建材,2025,(06):9-11.

[4] 崔宇.工业机器人在机械加工自动化生产线中的路径优化研究[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛——绿色智造・采购革新专题.鞍山市燃气集团有限公司;,2025:953-957.

[5] 马亮.基于 PLC 的自动化生产线智能控制系统设计与优化[J].电子技术,2025,54(12):181-183.