

基于 PLC 控制的模具自动化生产线设计与优化

曾玉平

杭州萧山技师学院, 浙江 杭州 311200

摘要: 现代工业对产品质量和生产效率提出了更高要求, 模具制造行业逐步从传统人工操作向自动化和智能化方向迈进。在这一转型中, 基于可编程逻辑控制器 (PLC) 的自动化生产线方案因其灵活性、稳定性和易维护性而受到广泛关注。本文以“基于 PLC 控制的模具自动化生产线设计与优化”为主题, 从整体架构与功能要求出发, 深入分析了 PLC 控制系统在模具制造中的核心作用, 探讨了设计思路、程序开发流程以及常见故障类型。针对实际生产中存在的效率瓶颈和故障隐患, 文章提出了具体的优化策略和诊断方法, 为工程技术人员在设计、调试和维护中提供了有价值的参考和借鉴。

关键词: 模具自动化; PLC 控制; 程序设计; 故障诊断; 系统优化

Design and Optimization of Mould Automation Production Line Based on PLC Control

Zeng,Yuping

Hangzhou Xiaoshan Technician College, Hangzhou, Zhejiang, 311200, China

Abstract: Modern industry has put forward higher requirements for product quality and production efficiency, and the mold manufacturing industry has gradually moved from traditional manual operation to automation and intelligence. In this transformation, the automatic production line scheme based on programmable logic controller (PLC) has attracted wide attention because of its flexibility, stability and maintainability. Based on the theme of "Design and Optimization of Mould Automation Production Line Based on PLC Control", this paper deeply analyzes the core role of PLC control system in mould manufacturing from the overall architecture and functional requirements, and discusses the design ideas, program development flow and common fault types. Aiming at the efficiency bottleneck and hidden trouble in actual production, this paper puts forward specific optimization strategies and diagnosis methods, which provide valuable reference for engineers and technicians in design, debugging and maintenance.

Keywords: Mold automation; PLC control; Programming; Fault diagnosis; System optimization

DOI: 10.62639/sspis08.20250203

模具制造在工业生产中占据重要地位, 其工艺水平直接关系到产品的质量、成本和效率。然而, 传统的人工操作方式劳动强度大, 且容易因人为因素导致误差。随着工业自动化和信息化的快速推进, 构建高效智能的模具自动化生产线逐渐成为行业发展的必然选择^[1]。在这一过程中, 可编程逻辑控制器 (PLC) 凭借其稳定性、灵活性和便于维护的特点, 成为自动化生产的核心技术支撑。现代模具自动化生产线整合了数控机床、注塑设备、传感器和机器人等多种先进技术, 要求 PLC 在逻辑控制、实时监控和调度管理中发挥关键作用。针对规模扩大的系统和日益复杂的操作环境, 本文围绕系统架构, 探讨了 PLC 的核心应用和优化策略, 并提出针对性的故障诊断方法, 为工程技术人员提供了实践参考。

一、模具自动化生产线概述

(一) 生产线功能与需求

模具自动化生产线是集成多道工序, 实现模具从原材料准备、机械加工、表面处理、热处理、装配检测到包装出厂等环节的全流程自动化管控。传统的人工模式下, 操作人员需要多次更换工装夹具并进行人工检测, 效率低下且误差率高。通过自动化的方式, 既可减少人力投入, 提高生产效率, 又能在数据化的环境下对质量进行严格管控。

(稿件编号: IS-25-3-1009)

作者简介: 曾玉平 (1987-), 男, 汉族, 重庆市忠县, 本科, 中级, 研究方向: 电气自动化。

在模具自动化生产线上, 设备数量和种类繁多, 现场控制系统与上位管理系统必须能够实现良好的数据交互^[2]。PLC 作为核心控制单元, 需要完成包括机械手与传输带的运动控制、模具零件在加工中心之间的调度、温度及压力等传感器的信号监控以及与其他智能设备的通讯。此外, 系统还应具备可扩展性, 以满足后续生产规模扩张或功能升级的需求。

(二) PLC 在模具生产线中的作用

在多台、多功能协同的模具生产线上, PLC 主要承担以下几项任务:

1. 顺序控制: 根据预先编制好的逻辑程序, 对多台设备 (如机床、机器人、检测装置等) 进行严格的时序与逻辑控制, 确保各工序的有序运行。

2. 运动控制: 在模具自动化生产中常需要机械手、输送装置及其他运动部件的高精度控制。PLC 可通过专用运动控制模块或与伺服系统通讯, 实现对速度、位置及力矩等参量的实时调控^[3]。

3. 数据采集与监测: PLC 与各种传感器、检测设备相连, 将生产过程中的工艺参数 (如温度、压力、加工时间等) 实时采集并存储, 供上位机或 MES 系统进行数据分析与反馈。

4. 故障报警与保护: 一旦系统出现异常, 如超出预设工艺范围、机械设备过载或传感器失灵, PLC 会通过逻辑判断或故障诊断模块进行报警提醒, 必要时执行紧急停机或切换至安全模式。

(三) 生产线总体布局

模具自动化生产线一般可按功能与工艺流程划分为几个独立的工段, 如机加工工段、热处理工段、表面处理工段、检测与装配工段等。在布局时应综合考虑以下因素:

1. 物流路径最短原则: 尽量使毛坯、半成品和成品在生产线的各工位之间实现最短的运输路径, 减少搬运消耗和等待时间。

2. 安全性与可靠性: 对于需要高温或有害物质处理的工段, 应设置独立的隔离区, 并布置必要的安全防护装置, 以免影响其余工段的运行。

3. 可维护与扩展: 在设备布局设计中, 应预留合理的维护通道和系统扩展空间, 方便后续技术升级或产能扩充。

二、PLC 控制系统设计

(一) 硬件选型与配置

在模具自动化生产线中, 由于设备数量众多、工艺流程复杂, 需要选择适配的 PLC 型号与硬件配置。主要考虑以下几点:

1. I/O 点数与处理能力: 根据生产线上传感器、执行器数量及数据吞吐量, 选择合适的 PLC 系列与 I/O 模块, 并兼顾一定的冗余量。

2. 通讯接口: 模具生产线上常需与多种外部设备通讯, 如变频器、机器人、触摸屏、工业相机等, 需确保 PLC 具备足够的通讯端口 (RS485、Ethernet/IP、Profinet 或 MODBUS 等), 可与第三方设备实现无缝连接。

3. 模块化扩展: 在生产线不断升级的背景下, PLC 需要根据未来生产线的扩容需求, 支持模块化扩展与系统分布式部署, 便于后期维护与扩展。

4. 环境适应性: 模具制造过程中可能会产生振动、高温或粉尘, PLC 选型需考虑其耐环境能力, 选择具有 IP 防护等级、宽温度工作范围或抗震设计的产品。

(二) PLC 程序结构与编程原则

为保证模具自动化生产线的稳定运行及易维护性, PLC 程序设计应遵循以下原则:

1. 层次化与模块化: 将各工段或各功能单元的控制逻辑分层分段编写, 形成相互独立的功能块或子程序, 如机器人搬运模块、机床加工模块、检测模块等。这样可简化程序结构, 提高可读性与可维护性。

2. 命名规范与注释: 对变量、符号及逻辑块的命名应简单直观, 并在关键逻辑处添加足够的注释, 使后续维护和程序更新更为便捷。

3. 错误处理与报警机制: 在编写流程控制时, 应提前规划好出错处理路径, 如若传感器检测到温度异常, 则立即报警并按照事先定义的应急程序执行安全停机或转入人工干预。

4. 时间同步与周期性检测: 某些模具加工过程有严格的时间要求, 比如热处理保温时长、刀具运动节拍等, 需要利用 PLC 定时中断或专用定时器实现精准控制。

(三) 通讯网络设计

大型模具自动化生产线往往由多台 PLC 或

PLC 与上位机、机器人协同工作, 需要建立合理的通讯网络:

1. 现场总线或工业以太网: 针对生产线上的伺服系统、远程 I/O 和传感器, 通常可采用 Profinet、EtherNet/IP 或 MODBUS TCP 等工业通讯协议, 以实现高速可靠的数据交换。

2. 多层次通讯架构: 对于对实时性要求较高的设备 (如高速传感器或伺服电机), 可部署在底层实时网络; 而对信息化数据 (如生产报表、质量统计) 可在上层以太网上进行传输, 形成一个多层级的通讯架构。

3. 统一编址与数据管理: 确保网络中每个 PLC、传感器或执行器都有唯一的地址, 便于对设备进行统一管理和数据的精确追溯。

三、典型故障类型及诊断方法

(一) 硬件故障

模具自动化生产线中硬件故障往往涉及到 PLC 本身及其外围设备:

1. 电源与模块故障: 电压波动或电源质量不佳可能导致 PLC 模块过热、数据丢失或程序错误执行。应使用稳压电源或不间断电源 (UPS), 并定期检测电源模块的实际输出电压及波形。

2. I/O 端口或接线故障: 在生产线振动或高温环境下, 接线松动、端子氧化或 I/O 模块内部损坏会导致输入信号不稳定、输出无法驱动等。可通过万用表或示波器检测信号质量, 必要时更换模块或重新布线。

(二) 软件故障

1. 逻辑错误: PLC 程序在编写阶段若未充分考虑极端条件或异常分支, 导致设备实际执行与预期不符, 甚至相互干扰。定期进行逻辑审查及仿真测试可有效预防。

2. 参数设置错误: 如运动控制模块的伺服参数、变频器频率设定、温控器 PID 参数等, 一旦与实际工艺需求不匹配, 就会引发机床加工失准或热处理偏差。定期备份与记录重要参数, 及时核对与更新。

3. 通讯阻塞: 如果 PLC 与现场总线中的其他设备存在通讯拥堵、帧丢失或地址冲突, 会导致整条生产线出现信息阻塞或延时。需对网络布局及设备地址进行统一规划, 定期监测流量与吞吐量。

(三) 环境与干扰因素

1. 温度与湿度: 模具生产的部分工序需要高温或湿度环境, 如果 PLC 硬件选择不当或保护措施不足, 会导致元器件性能下降或烧毁。须确保现场环境符合 PLC 的工作要求。

2. 电磁干扰: 高功率机床、注塑机、感应加热炉等设备会产生强电磁噪声, 可干扰 PLC 及传感器信号。通过合理的地线设计、屏蔽电缆与滤波器可有效减少干扰的影响。

四、故障诊断与维修策略

(一) 故障信息收集与预警

在故障发生前或发生初期, 生产线往往会出现异常症状或报警提示:

1. 日志与报警系统: PLC 中应开启日志记录功能, 对重要参数 (如加工循环次数、主轴负载、传感器检测值等) 进行实时或周期性存储, 并设置阈值报警。

2. 智能预警系统: 通过在程序中设置一定的阈值和异常模式判断, 一旦温度、压力或运动轨迹等数据超出安全范围, 系统会先行报警并提示操作员检查, 这种故障前移式诊断可降低生产损失。

(二) 故障源排查与定位

在出现报警或故障停机后, 维修人员需迅速排查故障根源:

1. 使用诊断工具: 借助 PLC 编程软件的在线监控功能或专用诊断软件, 查看 I/O 状态、通讯状态与错误代码, 必要时使用示波器检测模拟量和脉冲信号的波形。

2. 逻辑逐步测试: 依据 PLC 程序的流程图与逻辑结构, 从前往后依次触发信号, 验证各模块功能是否正确响应。若某一环节不工作, 就定位到对应的程序段进行排查。

3. 交换法故障: 若怀疑某些 I/O 或模块损坏, 可在系统停机并断电后, 将相同型号的模块或线路互换, 以观察故障是否随之转移, 从而判定硬件是否可用。

(三) 更换或修复故障组件

在确认故障组件后, 应参照系统文档或厂商指导手册完成更换或修复:

1. 更换步骤: 断电并执行安全锁定后, 拆卸损坏模块或线缆, 再使用同型号或兼容型号的备件进行替换。更换完成后进行通电测试, 确认组件与系统正常通讯与工作。

2. 修复过程: 对于多次故障或价格昂贵的 PLC 模块, 可联系厂家进行维修或保养, 并对修复后的硬件进行长时间测试, 避免再次故障给生产带来影响。

(四) PLC 程序重新编写或优化

当排查发现故障源自程序逻辑缺陷或与设备工艺不匹配时, 需对 PLC 程序进行调整:

1. 备份与版本管理: 对当前在用程序进行完整备份, 以保留原始设置。对程序升级时, 应维护版本号或变更记录, 防止后续回溯或对比时的混乱。

2. 逻辑审查与测试: 可先在离线环境或仿真软件中进行逻辑演算, 确保新增或修改的程序段能够满足预期需求。在部署至生产线前, 先小范围测试或分段测试, 减少对整条生产线的影响。

3. 引入先进算法: 对于涉及复杂运动控制、智能检测或参数自适应调节的工序, 可考虑在 PLC 中引入 PID、自抗扰控制或模糊控制等算法, 提高自动化程度与质量稳定性。

(五) 系统调试与维护

1. 调试步骤: 在新程序或新硬件上线后, 应先在空载或模拟负载条件下进行跑合测试, 逐项确认传感器、执行器及报警系统工作正常; 再逐步提高负载或切换至真实生产模式。

2. 定期点检: 根据生产节拍与设备特性, 制定定期巡检计划, 对重要硬件 (PLC、电源、通讯模块、主要线缆等) 和关键工艺参数进行排查与标定, 及时清理外部灰尘或金属屑。

3. 数据分析与持续改进: 对系统长期运行数据进行采集与分析, 关注主要设备的故障率、停机时间及工艺参数离散度, 利用这些信息指导后续的设备选型、软件优化和工艺改进。

五、生产线优化策略

(一) 设备布局与物流优化

生产线的效率提升不应仅局限于控制系统的技术改进, 更需要从整体布局和物流调度中寻找突破口。合理的设备分布与高效的物流方案可以让每个环节都能有条不紊地运行, 而不会因为局部的疏漏拖慢整体的节奏。例如, 在多个工段之间引入 AGV 小车或输送带, 并结合机器人进行物料搬运, 能够极大减少人工干预带来的时间浪费和操作误差。为了避免 AGV 小车运行中的路径冲突和重复调度, 可以利用 PLC 系统对路线进行实时优化, 设置优先级和路径规划规则, 使其像“交通指挥员”一样高效运转。此外, 针对产线上的“瓶颈”环节, 数据分析是一种行之有效的方法。通过分析工序间的时间消耗, 找出延迟原因, 例如某设备加工时间过长或装配环节效率偏低。在此基础上, 可以选择增加设备并行加工能力, 或者调整排班方式, 让设备间的工作节拍更为均匀, 从而缩短整体生产周期。

(二) 智能监测与信息化集成

生产线的现代化改造离不开智能化和信息化的深度融合, 尤其是在监控和数据管理方面, 先进技术的引入已经成为提升效率的关键抓手。将制造执行系统 (MES) 或 ERP 系统与生产线对接, 可以帮助企业对订单、原材料、生产进度和成品状态实现一目了然的监控。工人在上位机或终端设备上就可以掌握整个产线的实时信息, 避免因信息滞后或沟通不畅造成的资源浪费。这种全流程的信息可视化, 也为管理层优化生产决策提供了数据支持。另一方面, 大数据和云平台的应用正逐渐为企业带来“未雨绸缪”的能力, 在将生产过程中的工艺数据上传至云端或本地服务器后, 可以在数据量达到一定规模后进行深度挖掘。例如, 从设备运行的历史数据中发现某部件在特定负载条件下容易出现磨损异常, 提前安排维护计划; 或者通过分析成品质量波动趋势, 追溯到某个工序的参数偏差, 并及时修正。

六、结语

模具制造业对自动化与智能化的需求不断增加, 基于 PLC 控制的自动化生产线已成为行业主流。未来, 人工智能、大数据与 5G 技术的应用将推动生产线向柔性化、智能化方向发展。企业应在技术升级与投资中重视 PLC 的扩展性和网络化, 优化设计与应用, 助力制造业数字化转型, 实现更高效的生产效能。

参考文献:

- [1] 周伟. 工业自动化生产线中机器人及 PLC 的集成控制研究[J]. 智能城市, 2020, 6 (09): 247-248.
- [2] 韦日祯. PLC 型 DCS 控制系统在自动化生产线电子控制系统中的应用[J]. 时代汽车, 2023, (01): 13-15.
- [3] 李益玲. 基于 PLC 控制的变频器在自动化生产线中的应用[J]. 无线互联科技, 2020, 17 (24): 102-103.