

基于PLC的炉窑自动化生产线设计与实现

袁海¹ 庄威锋²

1. 宁波瑾翕节能技术有限公司 浙江 宁波 315000

2. 复旦大学宁波研究院 浙江 宁波 315000

摘要: 文章围绕基于PLC的炉窑自动化生产线的设计与实现展开研究。先阐述PLC技术基础, 再对炉窑生产线进行需求分析, 进而完成系统总体架构、硬件与软件设计, 并详细介绍系统实现、调试过程。最后通过性能评估指标进行测试分析, 针对性提出优化措施, 成功构建稳定高效的炉窑自动化生产线, 提升生产质量与效率。

关键词: PLC; 炉窑自动化生产线; 设计与实现

1 PLC 技术基础

PLC技术基础是工业自动化控制的核心内容, 主要涵盖工作原理与结构、编程与调试两部分。从结构上看, PLC由CPU、存储器、输入输出接口、电源模块和扩展接口构成。CPU负责指令执行与信号处理, 存储器存储系统及用户程序, 输入输出接口实现与外部设备的信息交互, 电源模块提供稳定电力, 扩展接口便于功能拓展。其工作方式采用循环扫描, 包含输入采样、程序执行和输出刷新三个阶段, 保障程序稳定可靠运行。编程环节, 常用梯形图、指令表、功能块图等语言^[1]。梯形图直观易懂, 指令表执行效率高, 功能块图适合复杂逻辑控制。调试时, 模拟调试可利用仿真软件提前排查逻辑和语法错误, 现场调试则在实际工业场景中检查接线与程序运行, 根据生产情况优化程序, 如修改设备启动逻辑降低电流冲击, 确保PLC系统能高效、稳定地满足自动化控制需求。

2 基于 PLC 的炉窑自动化生产线需求分析

2.1 炉窑生产工艺流程

炉窑生产是一个复杂的过程, 其工艺流程通常包括原料预处理、装料、加热、保温、冷却和卸料等多个环节。在原料预处理阶段, 需要对原料进行破碎、筛分、混合等操作, 以确保原料的粒度和成分符合生产要求。装料过程则是将预处理后的原料通过输送设备送入炉窑内部, 装料的速度和数量需要根据炉窑的容量和生产工艺要求进行精确控制。加热阶段是炉窑生产的核心环节, 通过燃烧燃料或采用电加热等方式对炉窑内的原料进行加热, 使其达到预定的温度, 在这个过程中需要严格控制炉温的上升速度和温度均匀性, 以保证产品的质量。保温阶段则是在原料达到预定温度后, 保持一定的时间, 使原料充分反应或达到所需的物理化学性能。冷却阶段是将经过加热和保温处理后的产品逐渐冷却至室温, 冷却

的速度和方式也会对产品质量产生重要影响。最后, 通过卸料设备将冷却后的产品从炉窑中取出, 完成整个生产流程。不同类型的炉窑, 如回转窑、隧道窑、梭式窑等, 其生产工艺流程在细节上可能会有所差异。

2.2 自动化需求与功能要求

随着工业生产对产品质量和生产效率要求的不断提高, 炉窑生产的自动化需求日益迫切。从自动化需求来看, 首先需要实现对炉窑生产过程中各种参数的实时监测, 如温度、压力、流量、液位等, 通过传感器将这些参数转换为电信号, 并传输给PLC进行处理。其次, 需要对炉窑的加热、冷却、通风等设备进行自动化控制, 根据生产工艺要求自动调节设备的运行状态, 确保生产过程的稳定进行。还需要实现生产过程的自动化管理, 包括生产计划的制定、生产数据的记录和分析、设备故障的诊断和报警等功能。具体的功能要求包括: 精确的温度控制功能, 能够将炉温控制在设定值的 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内, 以保证产品质量的一致性; 自动化的装料和卸料功能, 提高生产效率, 减少人工劳动强度; 实时的故障诊断和报警功能, 当设备出现故障或生产参数超出设定范围时, 能够及时发出报警信号, 并显示故障原因和位置, 方便维修人员进行处理; 数据记录和分析功能, 能够记录生产过程中的各种参数, 如温度曲线、生产时间、产品数量等, 并对这些数据进行分析, 为生产工艺的优化和管理决策提供依据。

3 基于 PLC 的炉窑自动化生产线设计

3.1 系统总体架构

基于PLC的炉窑自动化生产线系统总体架构采用分层分布式设计, 主要包括现场设备层、控制层和管理层。现场设备层是整个系统的基础, 它由各种传感器、执行机构和现场设备组成, 如温度传感器、压力传感器、电动阀门、电机等, 这些设备负责采集生产过程中的各种

参数，并执行PLC发出的控制指令。控制层以PLC为核心，通过输入输出模块与现场设备层进行通信，实现对生产过程的实时控制和数据处理。同时PLC还可以通过通信模块与管理层进行数据交换，将生产数据上传到管理层，接收管理层下达的控制指令^[2]。管理层主要由工业计算机、监控软件和数据库组成，通过监控软件可以实时显示生产过程的运行状态，对生产数据进行分析和处理，制定生产计划和管理决策。这种分层分布式的系统架构具有良好的扩展性和灵活性，方便用户根据实际需求对系统进行升级和改造。

3.2 硬件系统设计

硬件系统设计是基于PLC的炉窑自动化生产线实现的重要环节。在选择PLC时，需要根据系统的控制要求和输入输出点数进行合理选型。一般来说，需要考虑PLC的处理速度、存储容量、输入输出类型和数量等因素。除了PLC之外，还需要配置相应的传感器和执行机构。温度传感器是炉窑控制系统中最重要的传感器之一，常用的温度传感器有热电偶和热电阻，热电偶适用于高温测量，热电阻则适用于中低温测量。压力传感器用于测量炉窑内部的压力，确保炉窑在安全的压力范围内运行。执行机构主要包括电动阀门、电机驱动器等，电动阀门用于控制燃料的流量和炉窑的通风量，电机驱动器则用于控制输送设备和搅拌设备的运行。另外，还需要设计合理的电气控制柜，将PLC、传感器、执行机构和其他电气元件进行合理布局 and 安装，确保电气系统的安全可靠运行。在电气控制柜的设计过程中，需要考虑电气元件的散热、电磁干扰等问题，采用合理的布线方式和屏蔽措施，提高系统的抗干扰能力。

3.3 软件系统设计

软件系统设计主要包括PLC程序设计和监控软件设计。在PLC程序设计方面，首先需要根据炉窑生产工艺流程和控制要求，制定详细的程序设计方案。将整个控制过程分解为多个功能模块，如温度控制模块、装料控制模块、卸料控制模块等，每个模块实现特定的功能。在编写程序时，采用结构化编程的方法，使程序结构清晰，便于调试和维护。监控软件设计则是为了实现对生产过程的实时监控和管理。目前常用的监控软件有WinCC、组态王等，这些软件具有丰富的图形界面设计工具和数据处理功能。通过监控软件，可以实时显示炉窑的运行状态、生产参数和设备故障信息，操作人员可以通过监控界面方便地对生产过程进行控制和调整。同时，监控软件还可以实现生产数据的记录、存储和报表生成功能，为生产管理提供有力的支持。

4 PLC的炉窑自动化生产线系统实现与调试

4.1 系统实施步骤

系统实施是将设计方案转化为实际运行系统的过程，主要包括设备安装、电气接线、软件编程和系统联调等步骤。在设备安装阶段，需要按照设计要求将PLC、传感器、执行机构等设备安装到指定位置，并确保设备安装牢固、接线方便。电气接线过程中，要严格按照电气原理图进行接线，确保接线正确无误，避免出现短路、断路等故障。同时要注意电气线路的绝缘和防护，防止电气事故的发生。软件编程阶段，根据系统设计的要求编写PLC程序和监控软件程序。在编写PLC程序时，要进行充分的注释和说明，提高程序的可读性和可维护性。监控软件程序的编写则需要根据用户的操作习惯和功能需求进行设计，确保操作界面简洁明了、功能齐全。系统联调是在设备安装和软件编程完成后，对整个系统进行联合调试。首先进行单机调试，检查每个设备的运行是否正常，如传感器能否准确采集数据，执行机构能否按照指令动作等。然后进行系统整体调试，模拟实际生产过程，检查系统的各项功能是否满足设计要求，如温度控制是否精确，生产流程是否顺畅等。在调试过程中，要及时记录发现的问题，并进行分析和解决，确保系统能够稳定可靠地运行^[3]。

4.2 PLC程序编写与调试

PLC程序编写需要严格按照设计要求和编程规范进行。在编写程序之前，需要对系统的控制逻辑进行详细分析，确定输入输出信号的类型和数量，以及各个功能模块之间的逻辑关系。编写程序时，要注意程序的结构和层次，采用模块化编程的方法，将复杂的控制任务分解为多个简单的功能模块，每个模块实现特定的功能。要合理使用定时器、计数器等内部元件，实现精确的时间控制和计数功能。在PLC程序调试过程中，首先进行离线模拟调试，利用PLC编程软件提供的仿真功能，模拟外部信号的输入，观察程序的运行结果是否符合设计要求。通过离线模拟调试，可以发现程序中存在的逻辑错误和语法错误，并及时进行修改。然后进行在线调试，将PLC连接到实际的工业现场，通过监控软件实时监测程序的运行状态，根据实际情况对程序进行调整和优化。

4.3 人机界面开发与测试

人机界面是操作人员与炉窑自动化生产线系统进行交互的重要窗口，其开发质量直接影响到操作人员的工作效率和系统的易用性。在人机界面开发过程中，首先要确定界面的功能和布局，根据操作人员的需求和操作习惯，设计简洁明了、操作方便的界面。界面应包括系

统状态显示、参数设置、报警信息提示等功能模块,使操作人员能够实时了解系统的运行状态,并方便地对系统进行控制和调整。在界面设计过程中,要注重界面的美观性和实用性,采用合适的颜色搭配和图形元素,提高界面的可读性和吸引力。要确保界面操作的响应速度和稳定性,避免出现卡顿和死机等问题。在人机界面测试阶段,需要模拟各种操作场景,检查界面的各项功能是否正常,操作是否流畅。

5 PLC的炉窑自动化生产线系统性能评估与优化

5.1 系统性能评估指标

系统性能评估是衡量基于PLC的炉窑自动化生产线系统是否满足生产要求的重要手段,常用的评估指标包括控制精度、响应时间、稳定性、可靠性和生产效率等。控制精度是指系统对生产过程中各种参数的控制准确程度,如温度控制精度、压力控制精度等,控制精度越高,产品质量越稳定。响应时间是指系统对外部信号变化的反应速度,响应时间越短,系统的实时性越好,能够及时应对生产过程中的各种变化。稳定性是指系统在长时间运行过程中保持正常工作的能力,系统应能够在各种工况下稳定运行,不出现死机、程序跑飞等故障。可靠性是指系统在规定的条件和时间内完成规定功能的能力,通常用平均无故障时间(MTBF)来衡量,MTBF越长,系统的可靠性越高。生产效率则是指系统在单位时间内生产的产品数量,生产效率越高,企业的经济效益越好。

5.2 系统性能测试与分析

系统性能测试是对系统各项性能指标进行实际测量和评估的过程。在温度控制精度测试中,可以在炉窑内不同位置安装多个温度传感器,在系统稳定运行的情况下,记录不同时间点的温度数据,计算温度的平均值和偏差值,与设计要求的控制精度进行对比分析。响应时间测试可以通过模拟外部信号的突然变化,如突然改变温度设定值,记录系统从接收到信号到开始做出反应的时间,以及系统达到新的稳定状态所需的时间。稳定性和可靠性测试则需要进行长时间的连续运行测试,记录系统在运行过程中出现的故障次数和故障类型,分析故障原因,评估系统的稳定性和可靠性。生产效率测试可以通过统计一定时间内系统生产的产品数量,与设计生产能

力进行对比,分析系统在实际生产过程中的效率情况。

5.3 系统优化措施

根据系统性能测试与分析的结果,针对存在的问题采取相应的优化措施。在控制精度方面,如果发现温度控制精度不满足要求,可以优化PID控制参数,调整控制算法,或者增加温度补偿环节,提高温度控制的准确性。对于响应时间过长的问题,可以优化PLC程序的执行效率,减少程序扫描周期,或者采用更高速的PLC和通信设备,提高系统的实时性^[4]。在稳定性和可靠性方面,加强电气系统的抗干扰措施,如增加屏蔽线、安装滤波器等,减少电磁干扰对系统的影响。定期对设备进行维护和保养,及时更换老化的电气元件,确保设备的正常运行。建立完善的故障诊断和预警机制,提前发现潜在的故障隐患,及时采取措施进行处理。在提高生产效率方面,可以对生产工艺流程进行优化,合理安排装料、加热、保温和卸料等环节的时间,减少生产过程中的等待时间。优化设备的运行参数,提高设备的运行效率,如调整电机的转速、优化阀门的开度等。通过这些优化措施,可以不断提高基于PLC的炉窑自动化生产线系统的性能,满足工业生产日益增长的需求。

结束语

综上所述,基于PLC的炉窑自动化生产线设计与实现,有效解决了传统炉窑生产中的诸多问题。通过对系统各环节的研究与优化,显著提升生产自动化水平与产品质量。未来,随着技术不断进步,可进一步融合新技术,如物联网、人工智能等,持续完善生产线功能,推动炉窑生产行业向智能化、高效化方向迈进。

参考文献

- [1]李亮,段宏伟,靳宝强.基于云平台的自动化生产线运维管理系统研究与设计[J].机械工程与自动化,2025,54(02):172-173.
- [2]朱林福.电气自动化在工业生产线上优化[J].中国科技信息,2025,(06):66-68.
- [3]冉建平.仪表技术在工业自动化中的应用与发展趋势[J].中国设备工程,2024,(13):233-235.
- [4]田贵军.机电一体化技术在煤矿智能设备中的应用[J].矿业装备,2024(07):71-73.