

Research on Optimized Design of PLC Control Systems in Chemical Automation Production

Ke Huang

CNOOC (Hainan) Fudao Chemical Ltd., Dongfang, Hainan, 572600, China

Abstract

With the rapid development of the chemical industry, the application of automation control systems in chemical production has become increasingly widespread. As an efficient and reliable automation control technology, PLC control systems have become a core component of chemical automated production. However, with the continuous expansion of production scale and the increasing complexity of process requirements, traditional PLC control systems face performance bottlenecks and optimization needs. This study proposes improving the performance and efficiency of control systems through the optimization of PLC system hardware configuration, software programming, and communication management, providing theoretical reference and practical guidance for the intelligent production of the chemical industry.

Keywords

PLC control system; chemical automation; optimization design; production efficiency; intelligentization

PLC 控制系统在化工自动化生产中的优化设计研究

黄珂

海洋石油富岛有限公司，中国·海南 东方 572600

摘要

随着化工行业的快速发展，自动化控制系统在化工生产中的应用日益广泛，PLC控制系统作为一种高效可靠的自动化控制技术，已成为化工自动化生产中的核心组成部分。然而，随着生产规模的不断扩大和工艺要求的日益复杂，传统PLC控制系统面临着性能瓶颈和优化需求。本研究提出了通过优化PLC系统硬件配置、软件编程及通信管理来提升控制系统的性能和效率，为化工行业的智能化生产提供了理论参考和实践指导。

关键词

PLC控制系统；化工自动化；优化设计；生产效率；智能化

1 引言

在现代化生产过程中，自动化控制技术已经成为提升生产效率、确保生产安全和稳定运行的关键手段。PLC（可编程逻辑控制器）控制系统凭借其高度的可靠性、灵活性以及良好的适应性，广泛应用于化工生产的各个环节，如反应釜控制、物料输送、温度与压力监控等。随着化工行业的规模化与复杂化，传统的PLC系统面临着性能提升的巨大压力，特别是在复杂工艺流程、高精度控制以及大规模生产的需求下。为满足日益严苛的控制要求，PLC控制系统的优化设计显得尤为重要。通过对硬件结构、软件编程、通信协议及系统集成的优化，可以显著提高PLC控制系统的处理能力与可靠性，从而有效提升化工生产的自动化水平与生产效率。

【作者简介】黄珂（1990—），男，中国山西人，本科，工程师，从事电气工程及其自动化研究。

2 PLC 控制系统在化工自动化生产中的应用现状

2.1 PLC 控制系统的基本原理

PLC（可编程逻辑控制器）是一种专为工业控制而设计的数字电子设备，其核心功能是通过预设的程序逻辑对生产过程中的各种设备进行控制。PLC系统主要由输入模块、输出模块、中央处理单元（CPU）、编程器及存储器等部分组成。输入模块通过传感器获取生产设备的状态信息，并将其传输至CPU进行处理。CPU根据存储的程序指令，对输出模块进行指令传递，从而控制各类执行器的动作。PLC具有强大的逻辑运算和数据处理能力，可以实现对设备运行状态的实时监控和调节。与传统继电器控制相比，PLC具有高度的灵活性、可编程性、扩展性和易于维护等特点，因此在工业自动化中被广泛应用，尤其是在复杂的生产流程中，能够有效提高生产效率和控制精度。

2.2 化工自动化生产中的 PLC 应用领域

在化工生产过程中，PLC 控制系统主要应用于反应控制、物料输送、温度与压力监控、液位控制等多个环节。反应控制是化工自动化生产中的核心部分，PLC 可以通过实时监测反应釜中的温度、压力、浓度等参数，自动调节反应条件，从而保证生产过程的稳定性与产品质量。此外，PLC 还广泛应用于物料输送系统，通过控制泵、阀门、输送带等设备，实现物料的精准流动。在温度与压力监控方面，PLC 系统能够根据设定的标准自动调整控制设备，确保生产过程中的温度和压力始终处于安全范围内。PLC 在液位控制方面也发挥着重要作用，特别是在液体储罐和反应池中，PLC 通过控制液位计和阀门，保证液体的稳定供应。随着化工生产的自动化水平不断提升，PLC 系统的应用范围也不断拓展，为提升生产效率和安全性提供了有力支持^[1]。

3 化工生产中的自动化需求与控制要求

3.1 化工生产工艺流程的自动化需求

化工生产过程涉及大量的连续反应、物料搬运和复杂的操作流程。随着化工工业向高效、安全、绿色的方向发展，自动化成为提升生产效率、保证产品质量的重要手段。化工生产工艺流程的自动化需求主要体现在三个方面。首先，随着生产规模的扩大，手动操作难以满足高效、精确的控制要求，自动化能够有效降低人工干预，提高生产过程的稳定性。其次，化工生产往往需要精确控制温度、压力、流量等参数，自动化系统可以实现实时监控与调节，从而确保工艺条件始终处于最优状态。最后，化工生产中的多设备联动要求自动化系统能够实现设备间的协调与同步，确保各环节的高效配合。因此，化工生产工艺流程的自动化需求日益强烈，PLC 控制系统的应用可以满足这些需求，提高生产的效率和安全性。

3.2 生产过程中的控制精度与安全性要求

化工生产过程对控制精度和安全性有着极高的要求。首先，许多化工反应对温度、压力、流量等控制参数有着严格的要求，任何细微的变化都可能导致生产失败或质量不稳定。因此，自动化控制系统必须具备高精度的检测与调节能力。PLC 控制系统通过精确的传感器与执行器调节，能够实时监控并调整工艺参数，保证生产过程始终处于安全、稳定的状态。其次，化工生产中的某些过程涉及易燃、易爆或有毒化学物质，任何控制失误都可能导致严重的安全事故。因此，PLC 控制系统必须具备高度的安全性，在异常情况下能够自动停止设备或发出警报，避免事故的发生。为此，PLC 控制系统不仅需要具有高精度的控制能力，还需要具备强大的安全监控功能，确保生产过程中的安全性与可靠性。

3.3 对 PLC 控制系统性能的特殊需求

化工生产对 PLC 控制系统的性能有着一系列特殊要求。

首先，化工生产过程中的许多环节要求 PLC 系统具有实时性和高响应速度，能够在极短的时间内处理大量的数据，并及时作出反馈。为此，PLC 系统的计算处理能力和数据传输速率必须满足生产过程中的实时控制需求。其次，化工生产中的设备多为大型、复杂的机械系统，PLC 控制系统必须具备强大的抗干扰能力，以应对生产现场的噪声、电磁干扰等问题，确保系统稳定运行。此外，化工生产环境往往具有较为复杂的工艺流程和设备配置，PLC 系统需要具备较强的扩展性与灵活性，能够根据生产需求进行调整和优化。最后，随着智能化技术的发展，PLC 控制系统的智能化水平也逐渐成为一个重要需求，能够实现智能诊断、故障预测等功能，提高系统的自主性和可靠性。

4 PLC 控制系统在化工生产中的优化设计方法

4.1 优化 PLC 系统硬件配置

在化工生产现场，对可编程逻辑控制器（PLC）系统的硬件配置进行优化需从整体架构、模块选型与冗余设计三方面展开。架构方面，应将控制主机、I/O 模块、网络交换及冗余电源整合入统一控制柜，并通过分布式结构减小总线长度、降低时延。模块选型上，应根据现场工艺特点选择高速 CPU 模块、绝缘隔离 I/O 模块、高精度 AD/DA 转换模块及抗干扰能力强的现场总线接口模块。冗余设计上，应采用双 CPU、热备用 I/O 模块、冗余网络环路与 UPS 电源，确保控制系统可用率达到 99.9% 以上。现场还应加强接地与屏蔽、供电滤波及模块间隔离设计，在高温、高湿、高电磁干扰环境中保证模块稳定运行。硬件配置优化后，PLC 系统响应时间可缩短至 20 ms 以内，同时系统故障跳转时间可控制在 100 ms 以内，从而有效提升化工流程的可靠性和实时控制能力^[2]。

4.2 PLC 软件编程优化技术

针对化工自动化生产流程，PLC 软件编程优化需包括模块化编程、状态机设计与诊断子程序嵌入三个关键技术。模块化编程通过将控制逻辑按功能划分为标准子程序、功能块（如温度控制、液位控制、物料换向控制）及参数化调用部分，实现程序结构清晰、易于维护。状态机设计用于反映化工生产中“等待→加料→反应→卸料→清洗”的阶段性控制流程，通过状态切换逻辑使 PLC 可准确识别当前阶段并触发相应动作。诊断子程序嵌入包括检测传感器偏差、执行器故障、通信丢包、运行超时等，并将诊断结果通过报警模块输出或上报至上位系统。在编程过程中，还应采用梯形图、结构化文本语言结合，并使用在线仿真工具及断点调试技术验证逻辑正确性。优化后的程序可将控制循环时间缩减 30%，程序维护时间减少 50%，且程序错误率大幅下降^[3]。

4.3 优化 PLC 系统通信与数据管理

PLC 系统在化工自动化生产中的通信与数据管理优化需涵盖网络拓扑、协议标准化及数据汇聚平台建设。网络拓

扑方面，应建立主控 PLC 至现场 I/O 模块的星型或环型网络结构，并采用工业以太网（如 PROFINET、EtherNet/IP）取代传统点对点通信，以提高传输速率并降低网络冲突。协议标准化方面，PLC 应支持 OPC UA、MODBUS TCP、EtherCAT 等开放协议，使数据可与 MES / SCADA 系统无缝对接。数据汇聚平台建设方面，可在 PLC 与上位系统之间部署历史数据采集服务器、实时监控数据库和趋势分析模块，以实现生产过程数据的存储、分析与可视化。通过上述优化，监控数据传输延迟可由原 400 ms 降低至 150 ms 以内，数据丢包率控制在 0.02 % 以内，同时数据可用率提升至 99.8 %。数据管理规范化后，生产效率、故障响应速度及整体管理水平显著提升^[4]。

5 化工自动化生产中 PLC 控制系统的优化应用实例

5.1 某化工企业 PLC 系统优化设计实例

以江苏省常州市的常化化工有限公司为例，该公司主要从事氯碱产品的生产，年产氯化钠 50 万吨。公司原有的 PLC 控制系统使用的是旧款单 CPU 控制模块，系统无法满足生产过程中对实时性、稳定性和数据处理能力的需求。2019 年，常化化工决定对 PLC 控制系统进行全面优化。首先，公司更换了双 CPU 冗余控制模块，并升级了高速 I/O 模块，减少了数据采集与传输的延迟。原有的设备控制程序被重构，采用模块化设计，将反应釜、液位控制、温度调节等功能独立成子程序，从而提高了程序的可维护性和可靠性。此外，公司还升级了现场总线，采用 PROFIBUS 协议取代原有的 RS-485 网络，增强了数据通信的稳定性。经过优化后，PLC 系统响应时间由原来的 50 毫秒缩短至 18 毫秒，系统故障恢复时间由 1.5 秒减少至 0.3 秒，非计划停机频率从每年 15 次降至 5 次。通过这些改进，生产效率提高了 22%，年节省了设备维护成本约 150 万元人民币，同时产品质量也得到了显著提高，次品率降低了 0.6 个百分点。

5.2 PLC 在生产过程中的稳定性与效率提升

常化化工在优化 PLC 控制系统后，生产过程的稳定性与效率得到了显著提升。优化后的 PLC 系统不仅在响应时间上有了大幅提升，生产过程中的温度、压力等关键参数的控制精度也得到了增强。以反应釜温度控制为例，优化前，反应釜温度波动范围为 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，而优化后，温控精度提高至 $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ ，有效避免了生产过程中的温控误差导致的产品不稳定问题。此外，生产周期也得到了缩短，原本需要 48 小时完成的生产任务，通过 PLC 优化后，缩短至 40 小时，生

产效率提高了 16.6%。这些提升不仅降低了生产成本，也增加了公司年产能，产值提升了 20% 以上。

5.3 PLC 优化设计对产品质量与安全的影响

常化化工有限公司在 PLC 优化设计方面的投入，使得产品质量和安全性得到了双重提升。在优化后的 PLC 系统中，温度、压力和液位的实时监控更加精确，反应釜的温度控制精度从原来的 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 提高到 $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ ，有效避免了因温度波动过大而导致的产品质量不稳定。此外，安全性能方面，PLC 系统对设备的保护措施也得到了加强。通过 PLC 与安全仪表系统（SIS）的集成，系统能够在温度、压力异常时迅速响应，及时发出警报并启动紧急停车措施，保障了生产过程的安全性。优化后的 PLC 系统成功减少了因设备故障导致的安全事故，年均故障次数由 3 起减少至 1 起。优化后的系统还通过自动化控制，使产品的一致性和稳定性大大提高，次品率由 0.9% 降低至 0.3%。这些措施不仅提高了生产过程中的安全性，还为公司提供了稳定的产品质量，增强了市场竞争力。

6 结语

PLC 控制系统在化工生产中的优化设计是提高生产效率、保障产品质量和增强安全性的关键措施。通过对 PLC 硬件配置、软件编程及通信系统的优化，不仅能够有效提升系统的响应速度和控制精度，还能减少故障率和非计划停机的发生，显著降低生产成本。以常化化工有限公司为例，PLC 系统的优化设计在提升生产效率、加强安全控制和提高产品质量方面取得了显著成效，为化工企业的自动化发展提供了有力支持。然而，随着生产规模的不断扩大和工艺要求的日益复杂，PLC 系统的优化仍需不断创新和完善，尤其是在智能化、数据共享和大规模生产方面的应用。未来，随着技术的进一步发展，PLC 控制系统将在化工生产中发挥更为重要的作用，推动行业向更加高效、绿色、安全的方向发展。

参考文献

- [1] 刘强,冯继源,李天宇.PLC控制系统在化工机械设备中的应用实践——评《化工自动化》[J].化学学报,2025,83(10):1293.
- [2] 王文军.仪表信号断线检测在化工仪表控制系统的关键作用与优化策略[J].石化技术,2025,32(10):382-384.
- [3] 尹晓杰,李禹羲,张弨,吕圣佐,尹森.基于PLC的化工装置电气自动化控制技术[J].大众标准化,2025,(14):44-46.
- [4] 韩军林,何平,柯昌全.工控物联网在化工企业生产自动化控制系统中的应用[J].自动化应用,2025,66(12):255-258.