

Optimization of Electrical Control Systems in Industrial Automation Production Lines

Guangkun Zou

China National Materials Construction Co., Ltd., Beijing, 100176, China

Abstract

With the rapid development of industrial automation, the application of electrical control systems in production lines has become increasingly widespread. By optimizing the electrical control system, it is possible to not only improve production efficiency but also effectively reduce energy consumption, ensuring the stability and reliability of the production process. This paper analyzes the functions and roles of electrical control systems in industrial automation production lines, discusses the main challenges in their practical application, and proposes optimization paths based on automation control theory. Through dual optimization of hardware and software, as well as the application of system integration and intelligent control technologies, the overall performance of the electrical control system can be significantly enhanced. By combining practical case studies, this paper further analyzes the technical paths and implementation strategies for optimizing electrical control systems, aiming to provide theoretical support and practical guidance for the optimization of industrial automation production lines.

Keywords

Electrical control system; Automated production line; Optimization strategy; System integration; Intelligent control

工业自动化生产线中的电气控制系统优化

邹广坤

中材建设有限公司, 中国·北京 100176

摘要

随着工业自动化的快速发展, 电气控制系统在生产线中的应用愈加广泛。通过优化电气控制系统, 不仅能够提升生产效率, 还能有效降低能耗, 确保生产过程的稳定性与可靠性。本文分析了工业自动化生产线电气控制系统的功能与作用, 探讨了其在实际应用中的主要挑战, 并基于自动化控制理论提出了优化路径。通过硬件、软件的双重优化, 以及系统集成和智能化控制技术的应用, 可以显著提升电气控制系统的整体性能。结合实际案例, 本文进一步分析了电气控制系统优化的技术路径和实施策略, 旨在为工业自动化生产线的优化提供理论支持和实践指导。

关键词

电气控制系统; 自动化生产线; 优化策略; 系统集成; 智能化控制

1 引言

工业自动化生产线作为现代制造业的核心组成部分, 其电气控制系统是实现自动化、高效化生产的关键。随着工业生产规模的扩大和生产模式的不断变化, 传统电气控制系统面临着诸如系统稳定性差、能效低、生产效率不高等问题。因此, 提升电气控制系统的性能, 优化控制方案, 已成为工业自动化领域亟待解决的重要课题。近年来, 随着控制技术、智能化技术和大数据应用的进步, 电气控制系统的优化迎来了新的机遇。本文将重点分析电气控制系统的工作原理与现状, 探讨优化电气控制系统的理论基础, 并提出具体的技术路径和实施策略, 旨在提升工业自动化生产线的控制水平和

生产效益。

2 工业自动化生产线电气控制系统的功能与作用

2.1 电气控制系统的基本构成与工作原理

电气控制系统是工业自动化生产线中的核心部分, 主要由控制器、传感器、执行器和电气元件等组成。控制器一般采用 PLC 或 DCS 系统, 负责根据输入信号对系统进行指令发出, 调节设备的运行状态。传感器用于监测生产线中的各类数据, 如温度、压力、流量等参数, 确保生产过程符合预定要求。执行器则根据控制信号驱动生产设备进行动作, 如电动机驱动机械手臂的运动。电气元件如接触器、继电器和断路器等负责电流的开关控制, 确保电路的安全与稳定。电气控制系统通过实时监控与反馈调整, 确保生产线设备在最佳状态下运行, 实现高效、稳定的生产^[1]。

【作者简介】邹广坤(1984—), 男, 中国河北唐山人, 本科, 工程师, 从事电气自动化研究。

2.2 电气控制系统在工业生产线中的应用

电气控制系统在工业生产线中扮演着至关重要的角色，广泛应用于机械制造、化工、汽车、电子等多个行业。在机械制造业中，电气控制系统用于自动化控制各类加工设备，实现生产流程的自动化与高效化。在化工行业，电气控制系统负责控制反应过程的温度、压力和流量等参数，确保化学反应的稳定进行。在汽车生产线中，电气控制系统通过控制机器人焊接、涂装等环节，提高生产精度与工作效率。通过高效的控制系统，生产线能够实现精确的调度与实时监控，提升产品质量，减少人力成本，确保生产的连续性与安全性。

3 工业自动化电气控制系统优化的理论基础

3.1 自动化控制理论与优化模型

自动化控制理论是电气控制系统优化的理论基础，它通过研究自动化控制规律，制定优化方案，确保系统高效、稳定地运行。常用的优化模型包括经典控制理论中的PID控制、模糊控制、现代控制理论中的状态空间模型等。PID控制器通过比例、积分和微分的控制方式，实现对生产线设备的精确控制，广泛应用于温度、速度和位置控制。模糊控制则通过模糊逻辑算法，在处理不确定性和非线性系统时发挥重要作用，能够在复杂的生产环境中实现更好的控制效果。状态空间模型则为多变量、多目标系统提供了优化路径，通过对系统状态的综合分析与建模，进一步提升系统的性能和响应速度。

3.2 控制算法在电气控制系统中的应用

控制算法在电气控制系统中的应用广泛且至关重要，常见的控制算法包括PID控制、模糊控制、神经网络控制、最优控制等。PID控制是最基础且常用的控制算法，适用于大多数线性控制系统，能够通过实时调节系统的比例、积分和微分参数，保证系统输出与目标设定值之间的最优匹配。模糊控制则不依赖于精确的数学模型，适用于非线性系统或不确定系统，能够根据系统的输入输出模糊规则进行控制。神经网络控制则通过模拟人脑的神经网络进行模式识别和学习，适应复杂的控制任务，尤其在复杂的非线性系统中具有优越性。最优控制算法则通过数学建模，寻找最优控制策略，实现系统性能的最大化，广泛应用于多目标优化问题中。

3.3 优化技术对电气控制系统性能提升的理论支撑

优化技术在电气控制系统中的应用，为系统性能的提升提供了强有力的理论支撑。通过引入优化算法，系统可以在满足约束条件的同时，达到最优的运行状态。常见的优化技术包括遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法等，这些技术能够在较大的参数空间中找到全局最优解，提高控制系统的性能。遗传算法通过模拟生物进化过程，解决复杂的优化问题，适用于多目标、多约束的优化任务。粒子群优化算法通过模拟粒子群体的移动过程，寻找最优解，适合解决

参数调节问题。模拟退火算法则通过模拟物理退火过程，能够避免陷入局部最优解，适用于大规模的优化问题。应用这些优化技术，可以在电气控制系统的设计与运行过程中，进一步提高系统的精度、稳定性和可靠性。

4 工业自动化生产线电气控制系统优化实施的技术路径

4.1 电气控制系统优化需求分析与解决方案设计

在进行电气控制系统优化时，需求分析是关键的第一步。首先，需要对现有系统的性能数据进行详细的收集和解析。这包括电气控制系统的响应时间、功率消耗、设备运行稳定性、故障率等关键指标。比如，在某一生产线中，PLC控制系统的响应时间为200ms，而执行器的运动延迟为1s，这导致了生产效率低下和产品质量不稳定。需求分析时，数据采集系统和传感器的精度也应被重点考虑，精度不足的传感器可能会导致控制信号的不准确，影响整个生产过程的稳定性。根据这些数据，解决方案的设计应包括硬件和软件两方面的优化。在硬件方面，可能需要更换更高效的PLC，如更换传统的S7-1200 PLC为性能更强的S7-1500 PLC，以提高控制处理速度。在软件方面，优化控制算法，比如使用PID自整定控制算法来减少系统响应时间和提高控制精度^[2]。通过这些优化，电气控制系统的响应时间可以从200ms降低至100ms，系统稳定性大幅提高。

4.2 优化实施过程中的技术选型与配置

优化实施过程中，技术选型应根据生产线的特点和需求来进行选择。首先，PLC和DCS的选择要考虑生产线的规模与复杂性。例如，在中小型自动化生产线中，可以选择具备高速数据处理能力的S7-1500系列PLC，而对于大型复杂的生产线，推荐使用基于Ethernet/IP协议的DCS系统，具备更强的分布式控制能力。在执行器方面，对于要求高精度调速的设备，应选用伺服电机和变频器，例如使用交流伺服电机（如Yaskawa或Siemens品牌）配合变频器以精确控制电机转速，提升设备的响应速度和精度。根据生产要求选择传感器也是技术选型的关键，对于高温或强腐蚀环境的生产线，应选用具有抗干扰能力的传感器，例如温度传感器采用RTD（铂电阻温度探头），压力传感器选用精度为±0.5%FS的智能传感器。同时，数据传输采用Ethernet和PROFIBUS等工业通信协议，确保设备间的数据高效、稳定传输，并通过SCADA系统进行实时监控和远程控制。

4.3 电气控制系统优化实施的步骤与流程

电气控制系统的优化实施包括以下几个步骤：首先进行系统调研与数据采集，收集生产线各环节的详细运行数据，包括设备负载、运行温度、振动频率等。在数据采集过程中，可以通过在关键设备上安装传感器来实时监控设备状态，如压力传感器、温度传感器、流量传感器等。接下来，根据收集的数据进行性能瓶颈分析，识别出系统中需要优化

的部分，例如某些电机的启动时间过长或 PLC 的数据处理能力无法满足生产需求。然后，根据分析结果，选择合适的优化方案，如更换高效能 PLC 或执行器、改进控制算法等。系统测试与调试是最后一步，测试优化后的系统，监测生产线的响应时间、设备运行效率等，确保优化后的系统能够达到设计预期。如，通过优化后的系统，将 PLC 的响应时间缩短到 50ms，电机控制的精度提高到 $\pm 0.1\%$ 。优化实施后，还需要进行长期跟踪与数据分析，评估优化效果，确保系统稳定运行。

5 提升工业自动化生产线电气控制系统的优化策略

5.1 硬件优化策略与设备更新

硬件优化策略主要包括对电气控制系统中关键设备的更新与升级。例如，在设备更新过程中，将传统的直流电机驱动系统替换为更高效的伺服电机系统。伺服电机提供更高的调节精度和更快的响应速度，适用于需要精确控制速度和位置的生产线。此外，采用更高效能的 PLC 控制器，尤其是采用如 Siemens S7-1500 系列控制器，可以大幅提升数据处理速度和控制精度。这种 PLC 相比传统的 S7-1200 控制器，其处理速度提升了 40%，能够处理更多的输入输出点，适应复杂自动化需求。在传感器方面，选用更高精度的传感器，如精度达到 0.1%FS 的压力传感器与温度传感器，可以有效提高数据采集的准确性，减少设备运行中的误差^[1]。

5.2 控制软件优化与算法改进

控制软件优化与算法改进是提升电气控制系统性能的重要手段。PID 控制算法是最常用的基础控制算法，通过调整比例、积分和微分参数，控制系统可以实现精确的反馈调节。在优化过程中，可以根据生产线的具体要求，使用自适应 PID 控制算法，根据实际生产环境中的负荷变化自动调整控制参数，从而提高系统响应速度和精度。为了进一步提高控制性能，利用模糊控制算法进行优化是一个有效的选择。模糊控制算法不依赖于系统的精确数学模型，适合处理不确定和复杂的生产环境，能够在不完全知识条件下优化系统。通过优化控制算法，能够提升系统的稳定性，使得生产线在负荷波动较大的情况下仍能维持高效、稳定运行。

5.3 系统集成与智能化控制技术应用

在工业自动化生产线中，系统集成与智能化控制技术的应用可以大幅提高电气控制系统的整体性能。通过将 PLC、SCADA、MES 等系统进行有效集成，形成一个全方位的数据监控与管理系统，实现从设备到生产过程的全面自动化管理。通过集成，生产数据可以实时传输到云平台，通过大数据分析技术进行实时监控与分析，为生产优化提供决策支持。同时，智能化控制技术，如机器学习和人工智能算法的应用，可以根据历史数据预测设备故障，优化设备的运行状态，减少不必要的停机时间。例如，基于人工智能的预测维护系统能够在设备出现故障前进行预警，极大地减少了设备故障对生产线的影响^[4]。通过这种集成与智能化控制技术的结合，能够有效提升生产线的自动化水平，提高生产效率和产品质量。

6 结语

通过对工业自动化生产线电气控制系统的优化研究，可以看出，优化技术在提升生产效率、降低能耗、提高设备稳定性方面具有重要作用。电气控制系统的优化不仅包括硬件设备的更新与改进，还涉及控制算法的优化与智能化技术的应用。随着技术的不断进步，自动化生产线的控制系统正朝着更高效、智能的方向发展。在实施优化过程中，结合具体的生产需求进行精准的技术选型与配置，能够实现更好的生产控制效果。优化后的电气控制系统能够大幅提升生产线的响应速度、精度及系统稳定性，减少故障停机时间，为企业带来更高的经济效益和市场竞争能力。未来，随着智能化与大数据技术的进一步发展，电气控制系统优化将继续推进，并为智能制造的发展提供更加坚实的基础。

参考文献

- [1] 谢卫彬.智能化电气控制系统在工业自动化中的应用与发展趋势[J].新疆钢铁,2025,(04):260-262.
- [2] 张泰然,王国录,董康猛.基于PLC的电气系统与机械传动协同控制技术研究[J].工程建设与设计,2025,(23):168-170.
- [3] 崔学森.电气自动化系统在工业生产中的应用研究[J].产业创新研究,2025,(18):74-76.
- [4] 白宇峰.PLC技术在自动化生产线中的应用[J].电子技术,2024,53(02):104-105.