

电气自动化编程在智能制造工业控制应用中的发展趋势探究

何荣卓

身份证号: 440681198112245416

DOI:10.61369/ME.2025040012

摘 要 : 电气自动化编程涵盖 PLC、SCADA 等核心技术, 在智能制造工业控制应用中具有关键作用。包括分层式控制架构、生产线控制、节能增效等方面, 同时面临安全、标准、人才等挑战, 技术演进推动工业发展, 开源生态建设也很重要。

关 键 词 : 电气自动化编程; 智能制造; 工业控制

Research on the Development Trend of Electrical Automation Programming in the Application of Industrial Control in Intelligent Manufacturing

He Rongzhuo

ID: 440681198112245416

Abstract : Electrical automation programming covers core technologies such as PLC and SCADA, and plays a key role in the industrial control application of intelligent manufacturing. This includes aspects such as hierarchical control architecture, production line control, energy conservation and efficiency improvement, while also facing challenges such as safety, standards, and talents. Technological evolution drives industrial development, and the construction of an open-source ecosystem is also very important.

Keywords : electrical automation programming; intelligent manufacturing; industrial control

引言

在智能制造快速发展的背景下, 电气自动化编程的重要性日益凸显。自工业 4.0 概念提出后, 智能制造成为工业发展的重要方向。电气自动化编程涵盖 PLC 编程、SCADA 系统开发等核心技术, 这些技术相互配合构成基础框架, 为智能制造工业控制应用提供支撑。同时, 在分层式控制系统架构、智能生产线控制等多方面都发挥关键作用。随着 5G 通信技术的发展, 其与电气自动化编程的融合成为趋势, 且面临新的机遇与挑战。在此过程中, 不仅要考虑技术的创新与应用, 还需关注信息安全、标准体系完善以及人才培养等问题, 以推动电气自动化编程在智能制造工业控制应用中持续进步。

一、电气自动化编程技术基础

(一) 电气自动化编程核心技术

电气自动化编程涵盖多种核心技术。PLC 编程是关键之一, 它通过逻辑控制实现对工业设备的精确操作, 具有可靠性高、灵活性强等特点^[1]。SCADA 系统开发在自动化编程中也占据重要地位, 其能够实时采集和监控工业现场数据, 为生产过程的优化和管理提供有力支持。工业通信协议则确保了不同设备之间的有效通信, 如 Modbus、Profibus 等协议, 使得数据能够准确、快速地传输。这些核心技术相互配合, 构成了电气自动化编程的基础框架, 为智能制造工业控制应用提供了坚实的技术支撑, 推动着工业生产向智能化、高效化方向发展。

(二) 智能制造系统架构

在工业 4.0 背景下, 分层式控制系统架构是智能制造系统的关键。该架构涵盖了从底层设备到云端的多层结构。边缘计算设备在其中起着至关重要的作用, 它能够在本地对数据进行快速处理和分析, 减少数据传输延迟, 提高系统的实时性和响应速度^[2]。同时, 边缘计算设备与云端的协同编程实现方式也是研究的重点。通过合理的编程, 能够使边缘计算设备和云端之间实现高效的数据交互和任务分配。例如, 边缘计算设备可以将本地处理后数据上传到云端进行进一步的分析和存储, 云端也可以根据全局的数据分析结果向边缘计算设备下达指令, 从而实现整个智能制造系统的高效运行。

二、智能制造场景下的应用效益

（一）典型工业控制应用场景

在智能生产线控制方面，电气自动化编程实现了生产流程的精确控制和优化。通过对生产线各环节的编程设定，可提高生产效率、降低次品率^[3]。在机器人协同作业中，编程能够使机器人之间实现高效配合，完成复杂的生产任务，如在汽车制造中，多个机器人协同完成焊接、组装等工作。能源管理系统借助电气自动化编程，可实时监测和调控能源消耗，实现节能增效。例如，根据生产负荷自动调整设备的运行功率，降低能源浪费，提高能源利用效率，促进智能制造工业的可持续发展。

（二）经济效益与技术价值分析

在智能制造场景下，电气自动化编程应用具有显著的经济效益与技术价值。生产效率得以大幅提升，通过自动化编程实现精准控制与快速响应，减少生产周期，提高设备利用率^[4]。运营成本显著降低，一方面减少人力投入，另一方面优化生产流程，降低能耗与原材料浪费。产品质量得到优化，自动化编程确保生产过程的高精度与稳定性，减少人为因素导致的误差，提高产品一致性与可靠性。同时，技术的应用促进了产业升级，提升企业在市场中的竞争力，为企业带来更多的商业机会和利润增长空间。

三、工业控制系统的关键技术演进

（一）智能化编程技术突破

1. 工业物联网通信协议发展

在工业控制系统的关键技术演进中，工业物联网通信协议发展至关重要。OPC UA作为一种新型协议，具有跨平台、安全可靠等优势，它为系统集成提供了统一的信息模型和通信机制，使得不同厂商的设备和系统能够更好地交互和协同工作^[5]。MQTT协议则以其轻量级、发布/订阅模式的特点，适用于资源受限的物联网设备，能够高效地传输数据，降低网络带宽占用。PROFINET协议在工业以太网领域表现出色，它融合了实时通信和非实时通信功能，提高了工业网络的灵活性和可扩展性。这些新型协议的出现，对工业控制系统的系统集成产生了深远影响，推动了工业自动化向智能化、高效化方向发展。

2. 自适应控制算法优化

模糊控制和神经网络算法在智能化编程技术突破及自适应控制算法优化中具有重要意义。模糊控制通过模拟人类的模糊推理过程，对复杂系统进行有效控制。在动态工况下，其编程实现需考虑如何准确地定义模糊集和模糊规则，以适应系统的变化^[6]。神经网络算法则具有强大的学习和自适应能力，能够从大量数据中学习系统的动态特性。编程实现时要注重网络结构的设计和训练算法的选择，以提高算法的性能和效率。通过对这些算法在动态工况下编程实现策略的研究，有助于推动工业控制系统的自适应控制算法优化，实现更高效、智能的工业控制。

（二）系统安全性提升

1. 工业防火墙编程技术

工业防火墙编程技术在提升工业控制系统安全性方面至关重要。它涉及到对工控网络纵深防御体系的构建。通过编程，可以设定精确的规则来过滤网络流量，阻止未经授权的访问和恶

意攻击。例如，对特定端口的访问限制以及对异常数据流量模式的识别与阻断。同时，编程实现的防火墙能够实时监测网络活动，根据预设的安全策略做出响应。这要求编程技术能够高效处理大量的网络数据，并具备快速决策的能力，以确保工业控制系统的稳定运行，保护工业生产过程的安全与可靠^[7]。

2. 故障预测性维护系统

在工业控制系统中，故障预测性维护系统是提升系统安全可靠性的关键。基于大数据分析的设备健康管理编程模型构建至关重要。通过收集大量设备运行数据，包括温度、压力、振动等参数^[8]，利用先进的数据分析算法，可以挖掘数据中的潜在模式和规律。这些算法能够对设备的健康状态进行实时评估，预测可能出现的故障。例如，通过对历史故障数据和实时运行数据的对比分析，建立故障预测模型。当设备运行数据出现异常波动时，模型能够及时发出预警，提示维护人员进行相应的检查和维护，从而避免设备故障的发生，提高工业控制系统的整体可靠性和稳定性。

四、未来发展趋势与挑战

（一）5G通信技术的深度融合

1. 确定性网络编程框架

随着智能制造工业的发展，电气自动化编程面临着新的机遇与挑战。在未来，与5G通信技术的深度融合成为关键趋势。5G的高速率、低时延和高可靠性特性，为超低时延控制指令传输提供了可能。确定性网络编程框架在此过程中至关重要，它需要能够适应5G网络环境，确保数据的准确、快速传输。例如，开发适配5G的编程接口，以实现控制指令的高效传输，满足智能制造工业对实时性和准确性的要求。同时，该框架还需考虑网络的安全性和稳定性，防止数据泄露和传输中断等问题，保障工业生产的顺利进行^[9]。

2. 移动边缘计算应用

随着5G通信技术的深度融合，移动边缘计算在电气自动化编程的分布式智能控制方面展现出巨大潜力。5G的高速率、低延迟特性为数据传输提供了保障，使得移动边缘计算能够更高效地处理实时数据。在分布式智能控制中，边缘计算可在靠近数据源的地方进行数据处理和分析，减少数据传输至云端的延迟，提高系统的响应速度。例如，在智能制造工业控制的生产线上，传感器采集的数据可通过移动边缘计算快速分析处理，及时反馈给控制系统进行调整，从而提高生产效率和产品质量。同时，移动边缘计算还能增强系统的安全性和隐私性，降低数据泄露的风险，为电气自动化编程在智能制造工业控制中的应用提供更可靠的保障^[10]。

（二）数字孪生技术发展

1. 虚拟调试系统构建

随着数字孪生技术的发展，虚拟调试系统构建成为电气自动化编程在智能制造工业控制应用中的关键趋势。虚拟调试系统基于数字孪生模型，通过实时数据交互实现物理实体与虚拟模型的同步运行。其编程实现机理主要涉及到对物理实体的精确建模以

及与虚拟模型的无缝连接。在建模过程中，需要考虑到物理实体的各种特性和行为模式，利用先进的算法和软件工具进行准确模拟。同时，为了确保同步运行，编程要实现高效的数据传输和处理机制，以便虚拟模型能够及时反映物理实体的状态变化。这不仅需要强大的计算能力和网络支持，还对编程的准确性和实时性提出了更高要求，面临着诸多技术挑战，如数据延迟、模型精度等问题。

2. 实时仿真算法优化

在未来，电气自动化编程中的实时仿真算法优化面临诸多趋势与挑战。随着智能制造工业控制要求的不断提高，算法需适应多物理场耦合条件。高精度建模编程方法成为关键，其能够更准确地模拟实际工况，为智能控制提供可靠依据。一方面，算法要不断提升计算效率，以满足实时性要求，这需要融合先进的计算技术和优化策略。另一方面，要考虑复杂环境下的适应性，能够处理各种不确定性因素。同时，算法的优化还需结合大数据和人工智能技术，从大量数据中挖掘规律，不断自我学习和改进，从而推动电气自动化编程在智能制造工业控制中的应用向更高水平发展。

（三）自主可控系统发展

1. 国产工控平台适配

国产工控平台适配是电气自动化编程在智能制造工业控制应用中自主可控系统发展的关键环节。随着技术发展，国产工控平台需适配多种工业环境与应用场景。一方面，要实现与不同硬件设备的良好兼容，包括各类传感器、执行器等，确保数据采集与控制指令的准确传输。另一方面，软件层面要适应不同的编程规范与算法需求，满足复杂工业控制逻辑的实现。同时，还需考虑

与现有工业网络架构的融合，保障信息在整个工业系统中的高效流通。此外，国产工控平台适配要注重安全性能，抵御外部网络攻击，确保工业生产的稳定性与可靠性。

2. 开源生态体系建设

在电气自动化编程领域，开源生态体系建设至关重要。以Eclipse IoT和ROS工业版等开源框架为例，它们具有巨大的编程应用前景。这些开源框架为开发者提供了丰富的资源和工具，促进了技术的交流与共享。在未来，随着智能制造工业的不断发展，开源生态体系将吸引更多的参与者，进一步推动技术的创新。然而，开源生态体系也面临着一些挑战，如代码质量参差不齐、安全漏洞等问题。因此，需要建立有效的管理机制和规范，确保开源框架的可靠性和安全性。同时，加强开源社区的建设，提高开发者的素质和能力，也是促进开源生态体系健康发展的重要举措。

五、总结

电气自动化编程在智能制造工业控制应用中具有重要意义。其核心作用体现在对智能制造升级的推动上，通过编程实现智能控制和优化生产流程。技术演进重构了工业生产模式，提高生产效率和质量，增强企业竞争力。然而，在发展过程中也面临一些挑战。信息安全方面，需保障工业控制系统免受网络攻击；标准体系尚不完善，需建立统一规范；人才培养也至关重要，应加强相关专业教育和培训，培养掌握电气自动化编程和智能制造知识的复合型人才，以适应行业发展需求，推动电气自动化编程在智能制造工业控制应用中持续进步。

参考文献

- [1] 魏相站. 深度学习在面向边缘计算的智能制造中的研究 [D]. 贵州: 贵州大学, 2021.
- [2] 孙寒梅. 智能制造背景下 F 电子制造服务企业成本控制优化研究 [D]. 江苏: 苏州大学, 2022.
- [3] 刘会凯. 航天产品智能制造中多余物控制视觉关键技术研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2022.
- [4] 徐浩然. 离线强化学习算法研究及其在工业控制领域的应用 [D]. 陕西: 西安电子科技大学, 2021.
- [5] 吕玉琳. 基于工业 4.0 技术的智能制造系统开发及其调度优化 [D]. 安徽: 安徽大学, 2021.
- [6] 许铭轩, 郝丽娟. 电气自动化技术在工业控制中的应用 [J]. 科学与信息化, 2023(5): 142-144.
- [7] 马致博. 智能制造技术在工业自动化中的应用 [J]. 电子元器件与信息技术, 2022(4): 157-160.
- [8] 文波. 智能制造技术在工业自动化中的应用分析 [J]. 河南科技, 2021, 40(28): 3.
- [9] 王俊文. 未来工业互联网发展的技术需求 [J]. 电信科学, 2019, 35(8): 26-38.
- [10] 沈钱. 智能制造中工业大数据的应用价值探究 [J]. 消费电子, 2022(2): 93-95.