

电气自动化在智能制造与工业控制中的关键作用及效益分析

何荣卓

广东 佛山 528300

DOI:10.61369/ERA.2025100029

摘要： 本文阐述了电气自动化在智能制造与工业控制中的多方面应用及面临的问题。介绍了 PLC、工业机器人等相关技术，强调 DCS 与 FCS 的演进。阐述了柔性制造系统优化等原理，提及多物理场协同控制等技术应用，也指出异构系统集成等障碍及数字孪生与边缘计算融合的发展方向。

关键词： 电气自动化；智能制造；工业控制

Analysis of the Key Role and Benefits of Electrical Automation in Intelligent Manufacturing and Industrial Control

He Rongzhuo

Foshan, Guangdong 528300

Abstract： This paper expounds the multi-faceted applications and problems faced by electrical automation in intelligent manufacturing and industrial control. The related technologies such as PLC and industrial robots are introduced, and the evolution of DCS and FCS is emphasized. The principles such as the optimization of flexible manufacturing systems are expounded. The application of technologies such as multi-physical field cooperative control is mentioned. The obstacles such as the integration of heterogeneous systems and the development direction of the integration of digital twins and edge computing are also pointed out.

Keywords： electrical automation; intelligent manufacturing; industrial control

引言

随着《中国制造 2025》（2015 年颁布）等政策的推进，智能制造成为制造业发展的重要方向。电气自动化作为智能制造与工业控制的关键技术，在多个方面发挥着重要作用。从可编程逻辑控制器等基础技术到分布式控制系统与现场总线技术的演进，再到基于工业物联网的柔性制造系统优化，以及多物理场协同控制等前沿技术，都离不开电气自动化。它在汽车制造、石油化工、电力系统等众多领域都有应用，同时面临异构系统集成和人才短缺等挑战，数字孪生与边缘计算融合是其前沿发展方向。

一、电气自动化关键技术体系解析

（一）智能制造核心支撑技术

可编程逻辑控制器（PLC）作为一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作电子系统，它采用一类可编程的存储器，用于其内部存储程序，执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等面向用户的指令，并通过数字或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程^[1]。工业机器人技术是智能制造的关键，它能够在危险、恶劣环境下替代人类进行高精度、高效率的生产作业，其核心在于精确的运动控制和智能的编程算法。传感器网络则是实现自动化系统数据采集的重要手段，它能够实时感知环境信息，并将这些信息反馈给控制系统，以便系统做出

相应的决策，确保生产过程的稳定和高效。

（二）工业控制技术演进特征

分布式控制系统（DCS）和现场总线技术（FCS）在工业控制技术演进中具有重要地位。DCS 在早期工业控制中发挥了关键作用，它采用集中管理、分散控制的策略，实现了对复杂工业过程的有效监控和管理。然而，随着工业技术的发展，其局限性逐渐显现。现场总线技术（FCS）应运而生，它具有数字化、双向传输、多分支结构等特点，能够更好地满足现代工业对实时性、准确性和灵活性的要求。FCS 在一定程度上是对 DCS 的迭代和升级，它不仅提高了系统的性能和可靠性，还降低了成本和布线复杂度。在现代工业应用中，两者也常常结合使用，以发挥各自的优势，共同推动工业控制技术的进步^[2]。

二、智能生产系统的建构作用

（一）生产流程重构效能

基于工业物联网的柔性制造系统优化机理及实时监控能力提升路径是智能生产系统建构作用中生产流程重构效能的关键方面。工业物联网为柔性制造系统提供了强大的连接能力，使得设备之间能够高效通信和协同工作，实现生产流程的优化。通过实时收集和分析生产数据，能够精准地识别生产过程中的瓶颈和问题，从而对生产流程进行动态调整。这种实时监控能力不仅提高了生产效率，还能有效降低生产成本，提升产品质量。同时，柔性制造系统的优化还能够更好地适应市场需求的变化，提高企业的竞争力^[3]。

（二）设备集成创新模式

多物理场协同控制技术是智能生产系统设备集成创新模式中的关键。它通过整合多种物理场，如电磁场、温度场、应力场等，实现对加工过程的精确控制。在加工精度方面，该技术能够实时监测和调整加工参数，减少因物理场相互作用而产生的误差，从而提高产品的尺寸精度和表面质量^[4]。在能源效率提升上，多物理场协同控制技术可以优化加工过程中的能量分配，避免能源的浪费。例如，根据不同物理场的需求合理调整应力场的强度和分布，使加工过程中的能量利用更加高效，降低能源消耗，提升整体生产效益。

三、典型工业场景应用实证

（一）汽车制造领域应用

1. 激光焊接生产线智能优化

在汽车制造的激光焊接生产线智能优化中，视觉引导系统发挥了关键作用。该系统能够实时监测焊接过程，获取焊接路径的实际位置信息。通过先进的算法对这些信息进行处理和分析，实现焊接路径的动态补偿。当焊接过程中出现工件位置偏差或变形等情况时，系统可迅速调整焊接路径，确保焊接质量的稳定性和一致性。这不仅提高了焊接的精度和效率，减少了焊接缺陷的产生，还降低了人工干预的需求，节省了人力成本。同时，该技术的应用提升了整个焊接生产线的智能化水平，增强了生产线对不同生产任务和工况的适应性，为汽车制造企业带来了显著的经济效益和竞争优势^[5]。

2. 装配工艺质量追溯

在汽车制造领域，电气自动化在装配工艺质量追溯方面发挥着重要作用。基于 MES 系统，可实现装配参数的有效管理与追溯。通过对装配过程中各类参数的实时采集与记录，如零部件装配顺序、拧紧力矩、装配时间等，为后续质量追溯提供详细数据。当出现质量问题时，能够快速准确地定位问题发生的环节与原因，实现从成品到零部件、从生产工序到具体操作参数的全面追溯。这不仅有助于提高产品质量，减少次品率，还能提升生产效率，降低生产成本，增强企业在市场中的竞争力^[6]。

（二）医疗生物领域应用

在体外诊断测试卡的生产过程中，由于行业特性有着不同工

艺的生产专属设备，现代电气自动化则可以通过网络总线型式统筹各个专属设备的联动、数据互换；建立整个从物料自动上料、物料排列、装配、激光喷码、自动入袋包装等等闭环的生产过程，从而确保整个过程中的流转速度更高效、数据统计更准确、喷码溯源更可靠，也使整个生产过程更数字化清晰化；减少大量的人力操作成本和管理成本、减少物料原来在不同专属设备间的流转被污染的风险。

（三）电力系统智能调度

在电力系统智能调度方面，电气自动化技术起着至关重要的作用。通过自动化控制系统，能够实时监测电力系统的各项参数，如电压、电流、功率等^[7]。根据监测到的数据进行分析和处理，实现对发电、输电、配电等环节的智能调度。例如，在负荷高峰期，自动化系统可以合理调配发电资源，确保电力供应的稳定性。同时，对于故障的检测和处理也更加迅速和准确，当系统出现故障时，能够快速定位故障点，并采取相应的措施进行修复，减少停电时间和损失，提高电力系统的可靠性和运行效率。

四、综合效益与发展趋势研判

（一）技术经济性分析

1. 生产效率提升维度

电气自动化在生产效率提升维度展现出显著优势。通过优化生产流程，实现生产节拍的有效压缩。自动化系统能够精准控制设备运行，减少不必要的停顿和延误，提高单位时间内的生产数量^[8]。同时，设备稼动率得以提升，减少设备闲置时间，确保设备在生产过程中保持高效运行状态。这不仅提高了生产效率，还降低了生产成本。从长期来看，电气自动化技术的应用有助于企业在市场竞争中占据优势，提高产品的市场占有率和企业的经济效益。

2. 质量控制改进效益

自动化系统在质量控制方面具有显著效益。通过运用六西格玛方法评估，其对产品合格率提升贡献明显。电气自动化技术可实现生产过程的精准控制，减少人为因素导致的误差，确保产品质量的稳定性和一致性。在智能制造与工业控制中，自动化系统能够实时监测生产参数，对异常情况及时预警并调整，从而避免大量不合格产品的产生。这不仅提高了产品在市场上的竞争力，还降低了因质量问题导致的成本增加，如返工、报废等费用。同时，高质量的产品有助于提升企业的品牌形象，为企业带来长期的经济效益和社会效益^[9]。

（二）战略价值评估

1. 企业数字化转型

电气自动化在企业数字化转型中具有重要战略价值。通过自动化系统，企业运营数据得以有效沉淀。在生产过程中，自动化设备能够实时采集大量数据，包括生产参数、设备状态等。这些数据经过分析处理后，可转化为有价值的知识。一方面，为企业优化生产流程提供依据，例如通过分析数据发现生产瓶颈，进而调整工艺参数提高生产效率。另一方面，有助于企业进行知识管

理，将经验和技术知识以数据形式存储，便于传承和共享。同时，随着技术发展，电气自动化还将推动企业向智能化制造迈进，进一步提升企业在市场中的竞争力，实现可持续发展。

2. 产业链协同效应

电气自动化在智能制造与工业控制中具有显著的战略价值和产业链协同效应。从战略价值看，它提升了企业在全球市场的竞争力，促使制造业向高端化、智能化转型。在产业链协同方面，电气自动化技术打破了各环节之间的信息壁垒，实现了上下游企业间的高效沟通与协作。例如，在生产环节，自动化设备与系统的应用确保了生产过程的精准控制和高效运行，同时能实时将生产数据反馈给上下游企业，以便其及时调整生产计划和物料供应。这不仅提高了整个产业链的生产效率，还降低了库存成本和运营风险，增强了产业链的稳定性和灵活性，推动了智能制造产业的可持续发展。

（三）技术挑战与发展趋势

1. 当前实施障碍分析

电气自动化在智能制造与工业控制中面临诸多实施障碍。异构系统集成复杂度是一大挑战，不同系统在架构、通信协议等方面存在差异，使得集成过程困难重重，难以实现数据的高效交互和协同工作。同时，专业人才缺口也对其发展产生制约。电气自动化技术涉及多个领域的知识和技能，对人才要求较高，但目前相关专业人才数量不足，且培养体系与实际需求存在差距。这导致技术研发、应用和维护等环节缺乏足够的人力支持，延缓了技术的推广和应用，影响了电气自动化在智能制造与工业控制中关

键作用的充分发挥以及综合效益的提升。

2. 前沿发展方向预测

数字孪生技术与边缘计算的融合是电气自动化在智能制造与工业控制领域的前沿发展方向。数字孪生通过构建物理实体的虚拟模型，实现对生产过程的精确模拟和优化。边缘计算则将计算和数据存储推向网络边缘，减少数据传输延迟。二者融合可使工业自动化系统具备更高效的实时决策能力。例如，在复杂的生产环境中，实时获取设备数据并在边缘端进行分析处理，同时利用数字孪生模型进行模拟预测，从而实现精准控制和故障预防。这不仅提高了生产效率和产品质量，还降低了维护成本，推动智能制造与工业控制向更高水平发展。

五、总结

电气自动化在智能制造与工业控制中具有至关重要的作用。在智能制造系统重构方面，它推动了生产模式的变革，提高了生产效率和灵活性。对于工业控制精度提升，能够实现更精准的操作和监测，减少误差。从全生命周期角度看，其综合经济效益显著，包括降低生产成本、提高产品质量、缩短生产周期等。然而，随着技术的发展，也面临一些挑战。未来需重点突破人工智能算法融合，以进一步提升自动化的智能水平，更好地适应复杂的生产环境。同时，要加强网络信息安全加固，保障生产系统的稳定运行，防止数据泄露和恶意攻击等安全问题，确保电气自动化在智能制造与工业控制中持续发挥关键作用并带来更大效益。

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] 艾艳儒. 智能制造背景下制造业企业培训体系改革现状与对策研究 [D]. 重庆：重庆大学，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] 王钦. MES 在中国汽车企业信息化中的应用研究 [J]. 无线互联科技, 2012(12): 179, 182.
[7] 陈倩, 张艺潇. 分析智能制造技术在工业自动化中的应用 [J]. 信息技术时代, 2023(6): 28-30.
[8] 郎瑞峰. 电气自动化控制在煤矿生产中的应用探讨 [J]. 工业设计, 2015(5): 81-82.
[9] 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.