

电气自动控制系统分析

葛 楠

中车北京南口机械有限公司 北京 102202

摘 要：在科技高速发展的当下，电气自动控制系统是现代工业与科技领域的核心支撑。本文对其展开系统性分析，先阐述基本概念、发展历程及核心结构，揭示其在工业自动化中的核心地位，再深入剖析PLC技术、现场总线技术、人工智能技术等关键支撑技术的应用原理与优势，针对系统运行中面临的电磁干扰、复杂工况适应性及网络安全等挑战，提出优化策略，为其技术升级与可靠性提升提供理论参考，推动工业自动化领域可持续发展。

关键词：电气；自动控制；系统分析

引言：在工业智能化与自动化快速演进的背景下，电气自动控制系统作为连接设备运行、数据传输与智能决策的关键纽带，其技术水平直接影响工业生产的效率、安全性与稳定性。从传统继电器控制到如今融合信息技术与智能算法的集成系统，电气自动控制系统经历了多次技术迭代，已广泛应用于电力、制造、能源等核心领域。然而，随着工业场景复杂化与网络互联程度加深，系统在实际运行中面临电磁环境干扰、极端工况适应及网络攻击等多重挑战。因此，深入分析系统架构、关键技术及现存问题，探索针对性优化策略，对推动工业自动化技术革新具有重要的现实意义。

1 电气自动控制系统概述

1.1 基本概念

电气自动控制系统是指通过自动化技术与电气设备的有机结合，无需人工直接干预，便能依据预设程序或实时监测数据，自动调节、控制设备运行状态的智能化系统。其核心原理在于借助传感器实时采集温度、压力、电流等物理量，经控制器处理后输出控制指令，驱动执行机构完成相应动作，实现对工业生产、电力传输等复杂过程的精准调控。该系统具备稳定性、高效性和智能性特征，能够显著提升生产效率，降低人力成本，同时保障系统运行的安全性与可靠性。从本质上讲，电气自动控制系统是自动化技术、计算机技术与电气技术深度融合的产物，已成为现代工业、交通、能源等领域不可或缺的技术支撑。

1.2 发展历程

电气自动控制系统的发展历程可追溯至20世纪初，早期以继电器-接触器控制系统为主，通过机械触点的开合实现简单逻辑控制，但存在响应速度慢、灵活性差等局限。随着电子技术的兴起，20世纪中期晶体管与集成电路的应用，推动系统向电子化方向发展，控制精度

与可靠性显著提升。20世纪70年代，可编程逻辑控制器（PLC）的诞生标志着电气自动控制系统进入数字化时代，其强大的编程功能与模块化设计，大幅增强了系统的适应性与扩展性。21世纪以来，人工智能、物联网、大数据等新兴技术的融合，促使电气自动控制系统向智能化、网络化方向迈进，实现了从局部控制到全局协同优化的跨越，成为工业4.0时代的核心技术基石。

1.3 核心结构与功能模块

电气自动控制系统主要由传感器、控制器、执行器和通信网络四大核心结构构成。传感器作为系统的“感知器官”，负责采集现场物理参数并转化为电信号；控制器则是系统的“大脑”，通过预设算法对传感器数据进行分析与处理，生成控制指令；执行器作为“执行者”，根据指令完成电机启停、阀门调节等动作；通信网络则承担数据传输任务，实现各模块间的信息交互。功能模块方面，监测模块实时获取系统运行状态；控制模块依据策略调整设备参数；保护模块在异常时触发报警与应急处理；人机交互模块则为操作人员提供可视化界面，便于系统配置与监控。各部分协同运作，保障系统高效、稳定运行^[1]。

2 电气自动控制系统的关键技术

2.1 PLC技术

PLC（可编程逻辑控制器）技术作为电气自动控制系统核心支柱，通过存储在内存内的程序，执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等指令，并借助数字或模拟式输入/输出控制各类机械或生产过程。其硬件采用模块化设计，涵盖中央处理单元（CPU）、存储器、输入输出接口、电源模块等，便于根据实际需求灵活配置。软件层面，支持梯形图、指令表等多种编程语言，降低了编程门槛，使工程人员能够快速上手。在工业自动化领域，PLC技术凭借高可靠性、抗干扰能力

强、环境适应性好等优势,广泛应用于汽车制造、化工生产、电力系统等场景。例如在汽车生产线中,PLC可精准控制机械臂的抓取、焊接、喷涂等动作,实现生产流程的自动化与标准化;在电力系统中,能够实时监测电网参数,根据负荷变化自动调节设备运行状态,保障电力稳定供应。此外,PLC支持远程监控与故障诊断功能,可通过网络实现对设备的远程调试与维护,大幅提升系统管理效率,为电气自动控制系统的稳定运行提供坚实保障。

2.2 现场总线技术

现场总线技术是一种应用于生产现场、在智能化现场设备之间实现双向串行多节点数字通信的网络技术,被誉为工业自动化领域的“神经网络”。它打破了传统控制系统中一对一的模拟信号传输模式,将分散在生产现场的传感器、执行器、控制器等设备连接成一个有机整体,实现数据的实时共享与交互。常见的现场总线标准包括PROFIBUS、CAN、FF等,各标准在通信速率、传输距离、应用领域上各有侧重。现场总线技术的应用显著提升了电气自动控制系统的开放性与互操作性,不同厂商的设备可通过统一协议实现无缝集成,降低了系统集成成本与复杂度。在石油化工行业,现场总线技术可连接各类仪表与控制设备,实时采集温度、压力、流量等数据,并将信息快速传输至中央控制室,支持操作人员进行精准决策;在智能建筑领域,能实现照明、空调、安防等系统的集中控制与协同管理,打造高效节能的智能化环境。此外,现场总线的故障诊断功能可快速定位网络中的异常节点,减少系统停机时间,增强了系统的可靠性与维护便利性。

2.3 人工智能技术

人工智能技术的融入为电气自动控制系统注入了“智慧基因”,通过机器学习、深度学习、专家系统等算法,赋予系统自主学习、推理与决策能力。在机器学习方面,系统可基于历史运行数据建立模型,预测设备故障、优化控制策略;深度学习则通过神经网络对复杂数据进行特征提取与分析,实现对系统运行状态的精准评估。专家系统将领域专家的经验与知识转化为规则库,辅助系统在异常工况下做出合理判断。在电气自动控制系统中,人工智能技术的应用场景十分广泛。在电力调度领域,可根据天气、负荷变化等因素,智能优化发电计划,提高电网运行效率与经济性;在工业生产中,能实时监测设备运行参数,通过故障预测与健康管理的(PHM)技术提前识别潜在故障,减少停机损失。此外,人工智能与自动化控制的结合还催生了自适应控

制、智能优化控制等新型控制策略,使系统能够在复杂多变的工况下自动调整控制参数,实现动态最优控制,推动电气自动控制系统向智能化、自主化方向迈进。

2.4 智能传感器技术

智能传感器技术是集传感器、微处理器、通信模块于一体的新型传感技术,具备自校准、自诊断、数据处理与双向通信能力。相较于传统传感器,智能传感器不仅能实现物理量到电信号的转换,还可对采集数据进行滤波、补偿、分析等预处理,有效提升数据质量与可靠性。同时,其内置的微处理器可根据预设程序自动调整工作参数,适应不同环境与工况需求。在电气自动控制系统中,智能传感器作为关键的“感知单元”,广泛应用于工业监测、环境检测、智能家居等领域。在生产线上,智能温度传感器可实时监测设备温度,通过内置算法预测过热风险并及时报警;智能压力传感器能自动补偿环境因素引起的测量误差,确保数据精准度。此外,智能传感器支持无线通信功能,可实现数据的远程传输与云端存储,便于管理人员通过移动终端实时掌握系统运行状态。随着物联网技术的发展,智能传感器正朝着微型化、低功耗、高集成度方向发展,为电气自动控制系统的智能化升级提供更强大的感知能力。

2.5 数据采集及处理技术

数据采集及处理技术是电气自动控制系统实现精准控制与智能决策的基础,其核心在于高效获取现场数据并转化为有价值的信息。数据采集环节通过传感器、变送器等设备将物理量转换为电信号,再经模数转换(A/D)、信号调理等处理后传输至数据采集卡或控制器。为满足不同场景需求,数据采集技术涵盖了模拟量采集、数字量采集、高速采集等多种方式,并支持定时采集、触发采集等灵活的采样策略。数据处理阶段则运用滤波算法、统计分析、信号处理等技术,对原始数据进行清洗、降噪、特征提取与模式识别。例如,通过数字滤波算法去除信号中的噪声干扰,利用傅里叶变换分析信号的频域特性,采用主成分分析(PCA)对多变量数据进行降维处理。在实际应用中,数据采集及处理技术广泛应用于电力系统的负荷预测、工业设备的状态监测、交通流量的实时分析等场景。通过对海量数据的深度挖掘与分析,系统能够发现运行规律、预测潜在风险,为优化控制策略、提升系统性能提供数据支撑,推动电气自动控制系统从经验驱动向数据驱动转变^[2]。

3 电气自动控制系统面临的挑战与优化策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 电磁干扰问题

工业环境中充斥着大量电气设备，如变频器、电机等，它们运行时产生的电磁信号会以辐射或传导方式干扰自动控制系统。传感器受干扰后，数据采集出现偏差、噪声，导致信号失真；通信线路受影响则易引发数据传输错误或中断；控制器被干扰可能造成程序错乱、指令误执行，且电磁干扰源广泛、形式复杂，传统防护手段难以彻底消除干扰，严重威胁系统稳定运行。

3.1.2 复杂工况适应性

电气自动控制系统常处于高温、高湿、粉尘、振动等恶劣工况，以及多变量耦合、非线性变化的复杂生产过程中。极端环境加速设备老化、降低元件性能，粉尘油污可能损坏设备；复杂过程使传统控制算法难以精准调节，当工况突变时，系统响应滞后、控制超调，无法满足现代工业对高精度、高动态控制的需求。

3.1.3 网络安全问题

随着电气自动控制系统与工业互联网深度融合，其网络安全风险剧增。系统通信协议存在安全漏洞，易被黑客利用进行非法访问、数据篡改；部分设备缺乏严格身份认证和访问控制机制，攻击者可轻易入侵。系统运行产生的大量敏感数据一旦泄露，会造成企业经济损失与核心技术暴露，现有防护技术难以应对新型网络攻击。

3.2 优化策略

3.2.1 电磁兼容性设计

电磁兼容性设计通过系统化措施降低电磁干扰对电气自动控制系统的影响。在硬件层面，采用屏蔽技术，如使用金属屏蔽罩包裹敏感元件和线路，阻断电磁辐射干扰；对信号线缆进行屏蔽处理，并合理接地，减少传导干扰。同时，优化电路板布局，缩短高频信号传输路径，避免信号间相互干扰。在软件层面，运用数字滤波算法对采集信号进行处理，过滤噪声；通过冗余设计，确保关键数据传输的准确性和可靠性。此外，严格遵循电磁兼容性标准，对系统进行全面测试与优化，确保系统在复杂电磁环境中仍能稳定运行，有效提升抗干扰能力。

3.2.2 智能自适应控制算法

智能自适应控制算法可显著提升系统对复杂工况的适应能力。引入机器学习和深度学习算法，使系统

能够根据实时工况数据自动调整控制参数。针对多变量耦合、非线性变化的复杂过程，采用模型预测控制（MPC）算法，基于系统模型对未来状态进行预测，并提前规划控制输入，减少调节延迟。此外，结合专家系统，将行业经验与知识融入控制逻辑，当系统遇到异常工况时，快速做出合理决策，有效解决传统控制算法响应慢、精度低等问题，满足工业生产对高精度和高稳定性的要求。

3.2.3 网络安全防护体系

构建全方位网络安全防护体系是保障电气自动控制系统安全的关键。首先，对通信协议进行安全升级，如对Modbus协议增加加密认证机制，防止非法访问和数据篡改。其次，建立严格的身份认证和访问控制机制，采用多因素认证技术，限制未经授权的设备接入系统；划分网络安全区域，设置防火墙和入侵检测系统，实时监测网络攻击行为。同时，对系统数据进行加密存储和传输，采用区块链技术保证数据的完整性和不可篡改性。定期开展网络安全培训，提升操作人员的安全意识，及时更新防护技术，应对新型网络攻击，确保系统网络安全^[3]。

结束语

电气自动控制系统作为工业现代化的核心支撑，在推动生产效率提升与产业升级中发挥着关键作用。但电磁干扰、复杂工况适应性及网络安全等问题，仍是制约其发展的瓶颈。随着PLC、人工智能等关键技术的持续创新，结合针对性的优化策略，系统的可靠性与智能化水平将不断提升。未来，随着与5G、物联网等新兴技术的深度融合，电气自动控制系统有望实现更高效、安全、智能的发展，为工业4.0与智能制造注入新动能，持续推动各领域的技术变革与产业进步。

参考文献

- [1]李文华.人工智能在电气自动控制中的应用研究[J].中国教育技术装备,2022(13):237-238.
- [2]赵中华,李智杰.电气自动控制系统的功能监控及其发展研究[J].科技创新导报,2021,16(15):116-117.
- [3]张峰峰.电气自动控制中PLC技术的应用[J].电子技术与软件工程,2022(09):124.