浅谈自动化控制中电气自动化控制技术

刘春海
杭州和利时自动化系统工程有限公司　浙江　杭州　310000

摘　要：随着科技浪潮奔涌向前，自动化控制领域日新月异。本文聚焦自动化控制中的电气自动化控制技术，梳理其发展脉络，涵盖技术起源、电子技术推动的革新及与计算机信息技术融合的现代阶段。详细阐述核心体系，包括硬件架构、软件体系、通信标准、安全防护及智能集成等。同时，探讨该技术在工业生产、能源管理、建筑智能化和交通运输等多个领域的应用。旨在全面展现电气自动化控制技术的演变、构成及应用，为相关领域研究和实践提供参考。

关键词：电气自动化控制技术；发展脉络；核心体系；应用领域

引言：在当今科技飞速发展的时代，自动化控制成为推动各行业进步的关键力量，而电气自动化控制技术更是其中的核心要素。它凭借高效、精准、智能等优势，深度融入工业生产、能源、建筑、交通等众多领域，极大地提升了生产效率和生活质量。回顾其发展历程，从早期简单控制到如今高度智能化，技术不断迭代升级。了解电气自动化控制技术的发展脉络、核心体系及应用领域，对于把握行业趋势、推动技术创新具有重要意义。

1 电气自动化控制技术的发展脉络

1.1 技术起源与早期发展

电气自动化控制技术起源于19世纪末至20世纪初的电气工程革命。发电机与电动机的发明推动了电力系统的建立，运动控制器、流程控制器（如工业计数器、继电器）成为早期技术基础。20世纪初至30年代，这些设备在制造业中初步实现机械化控制，为自动化概念奠定雏形。二战后，自动化需求激增，遥测遥控技术与PID调节器应用，标志着电气自动化从机械化向控制自动化转型。

1.2 电子技术推动的技术革新

20世纪60年代后，电子技术成为电气自动化发展的核心驱动力。半导体器件与集成电路的突破使控制设备体积缩小、可靠性提升。1969年，美国DEC公司研制出首台可编程逻辑控制器（PLC），其基于微处理器的设计取代了传统硬接线继电器，实现逻辑控制、计时计数、顺序控制等功能。至70年代，PLC技术传入日本、欧洲及中国，8位CPU与集成存储器的应用使其具备数值运算、数据传递能力。

姓名：刘春海;性别：男;出生年月：1973年2月10号;民族：汉;籍贯：河南 开封市;职称：中级工程师;学历：本科;研究方向主要从事：机械设计制造及其自动化。

1.3 计算机与信息技术融合的现代阶段

20世纪90年代至今，计算机与信息技术深度融入电气自动化，推动其向智能化、网络化转型。计算机技术实现故障诊断、优化设计、远程监控等功能，例如通过变压器气体分析定位设备故障，利用工业以太网实现高速数据传输。信息技术方面，现场总线与工业互联网打破设备间信息孤岛，分布式控制系统（DCS）与现场总线控制系统（FCS）支持多设备协同。人工智能与大数据技术进一步赋能智能控制，系统可根据实时数据动态调整参数，实现优化运行[1]。

2 电气自动化控制技术的核心体系

2.1 硬件技术架构

电气自动化控制技术的硬件技术架构是整个系统稳定运行与高效控制的基础，其构建需兼顾性能、可靠性与扩展性。(1)核心控制单元是硬件架构的关键。以可编程逻辑控制器（PLC）为例，它凭借高速处理能力、强大的逻辑运算与顺序控制功能，成为工业现场的“大脑”。通过模块化设计，PLC可灵活配置输入输出（I/O）模块，适配不同规模与类型的控制需求，如数字量、模拟量信号的采集与输出，实现对设备状态的精准监测与动作控制。(2)传感器与执行器是硬件架构的感知与执行端。传感器负责将物理量（如温度、压力、流量）转化为电信号，其精度与响应速度直接影响控制质量。执行器则根据控制指令驱动设备动作，如电动阀门、伺服电机等，需具备高可靠性与快速响应能力，确保控制指令的准确执行。(3)通信模块与网络设备构建了硬件架构的连接脉络。工业以太网、现场总线等技术实现控制单元、传感器与执行器间的高速数据传输，确保实时性与准确性。同时，冗余设计（如双环网、双电源）可提升系统容错能力，避免单点故障导致控制中断，保障生产

过程的连续性。

2.2 软件技术体系

电气自动化控制技术的软件技术体系是系统实现智能化、灵活化控制的核心支撑，其构建需兼顾功能完备性、可扩展性与实时性。(1)编程与开发环境是软件体系的基础。主流PLC编程软件（如西门子STEP7、三菱GXWorks）支持梯形图、指令表、功能块图等多种IEC61131-3标准语言，满足不同场景的编程需求。软PLC技术通过虚拟化运行环境，将传统PLC功能集成至工业PC，实现跨平台开发与标准化编程，显著提升开发效率。(2)控制算法与逻辑处理是软件体系的核心。PID控制、模糊控制、神经网络等智能算法嵌入软件模块，可针对多变量、非线性系统实现自适应调节。例如，温度控制场景中，模糊算法通过动态调整PID参数，提升系统响应速度与稳定性。此外，顺序功能图（SFC）支持复杂工艺流程的逻辑编排，确保生产线的顺序控制精准可靠。(3)数据管理与通信接口是软件体系的桥梁。实时数据库模块负责采集、存储传感器数据，为监控与分析提供支撑。通信接口支持OPCUA、Modbus、Profinet等协议，实现PLC、HMI、SCADA系统间的数据交互。

2.3 通信技术标准

电气自动化控制技术的通信技术标准是保障系统稳定运行与高效协同的核心基础，其体系构建主要围绕以下三方面展开：(1)国际通用协议确保跨设备兼容性。IEC61158系列标准定义了多种现场总线协议（如Profibus、DeviceNet），通过统一物理层、数据链路层与应用层规范，实现不同厂商设备的互联互通。其中，Profibus-DP协议针对离散制造场景，支持主从式通信结构，主站周期性轮询从站数据，确保实时控制指令的精准传递；而DeviceNet则基于CAN总线，通过对象模型简化设备配置，适用于传感器与执行器的低速数据交换，两者共同覆盖了从简单到复杂的工业通信需求。(2)实时以太网技术提升通信效率。EtherCAT、Powerlink等实时以太网协议通过时间触发机制与硬件加速，将通信周期缩短至微秒级。EtherCAT采用“处理在环”技术，数据帧在从站设备间传输时直接被读取与修改，无需存储转发，显著降低延迟；Powerlink则通过时间槽分配与优先级调度，实现硬实时与软实时任务的混合传输，满足运动控制与过程控制对同步性的高要求。(3)无线通信标准拓展应用灵活性。IEEE802.11系列（如Wi-Fi6）通过多用户多入多出（MU-MIMO）与正交频分多址（OFDMA）技术，提升高密度设备接入能力，适用于工厂内移动机器人的实时定位与数据回传；而IEEE802.15.4（如Zigbee）则以低功耗、自组网特性，服务于建筑智能化中的照明控制与环境监测，形成有线与无线互补的通信网络。

2.4 安全防护体系

电气自动化控制技术的安全防护体系是保障系统稳定运行、防止数据泄露与设备损毁的核心屏障，其构建需兼顾物理安全、网络安全与功能安全，主要围绕以下三方面展开：(1)物理安全防护奠定基础。硬件层面采用冗余设计，如双电源供电、双网口通信，避免单点故障导致系统瘫痪；关键设备（如PLC、服务器）部署于防尘、防潮、防电磁干扰的专用机柜，并配备环境监测传感器，实时监控温湿度、振动等参数，超限时自动触发报警或停机保护。此外，物理访问控制通过门禁系统、视频监控与生物识别技术，限制非授权人员接触核心设备，防止硬件篡改或破坏。(2)网络安全防护构建纵深防御。通信层面采用加密技术（如TLS/SSL、IPSec）对数据传输进行加密，防止中间人攻击；网络架构通过防火墙、虚拟专用网（VPN）划分安全域，隔离生产网与管理网，限制横向渗透。终端层面部署入侵检测系统（IDS）与主机防护软件，实时监测异常流量、恶意代码，并联动安全策略自动阻断威胁。同时，网络访问控制基于角色权限管理，确保操作人员仅能访问授权资源，避免越权操作引发安全风险(3)功能安全防护确保系统可控性。通过安全完整性等级（SIL）认证，对控制逻辑进行冗余设计（如三取二表决机制），即使部分模块故障，系统仍能维持安全状态；安全仪表系统（SIS）独立于基本控制系统，在检测到超限参数时自动执行紧急停车，防止事故扩大。

2.5 智能集成与新兴技术

电气自动化控制技术的智能集成与新兴技术正推动系统向自主感知、决策与优化方向演进，其核心突破集中在以下三方面：(1)人工智能与机器学习深度融入控制逻辑。通过神经网络算法，系统可自动识别设备运行模式中的非线性特征，例如利用卷积神经网络（CNN）分析电机振动频谱，精准诊断轴承故障；强化学习算法则支持动态参数优化，如根据实时负荷调整PID控制器的比例-积分-微分系数，使温度、压力等过程变量波动范围缩小30%以上。这种自适应能力显著提升了系统对复杂工况的应对效率。(2)数字孪生技术构建虚拟-物理闭环。通过三维建模与数据同步技术，数字孪生体可实时映射物理设备的运行状态，支持预测性维护与工艺仿真。在机器人控制领域，离线编程的孪生体可验证轨迹规划的碰撞风险，减少现场调试时间50%以上。这种虚实融合机制使控制策略的验证与优化更具前瞻性。(3)边缘计算与5G技

术强化实时响应能力。边缘计算节点部署于现场层，就近处理传感器数据，降低云端通信延迟，例如在高速包装线中，边缘设备可在2ms内完成图像识别与缺陷检测，同步触发分拣动作；5G网络的低时延（< 1ms）与高可靠性则支持移动设备（如AGV小车）的实时定位与路径规划，结合网络切片技术，为关键控制指令分配专用带宽，确保生产流程的连续性与精准性[2]。

3 电气自动化控制技术的应用领域

3.1 工业生产自动化

电气自动化控制技术通过集成传感器、执行器与智能算法，实现工业生产流程的全链条优化。在装配环节，视觉识别系统结合运动控制器，可精准定位零件并完成高精度组装，误差控制在0.01mm以内；在加工过程中，自适应控制技术根据材料特性动态调整切削参数，提升加工效率的同时降低刀具磨损。分布式控制系统（DCS）与制造执行系统（MES）的融合，使生产数据实时采集与工艺参数优化同步进行，减少停机时间20%以上。此外，自动化仓储系统通过AGV小车与立体货架的协同，实现物料的高效流转，提升整体生产节拍。

3.2 能源管理与优化

电气自动化技术通过实时监测与智能调度，推动能源系统的精细化管控。在电力分配环节，智能电表与能量管理系统（EMS）结合，可动态调整负荷分配，优先保障关键设备供电，降低峰值用电成本；在可再生能源整合中，自动化控制技术协调光伏、风电与储能系统的充放电策略，根据电网需求与天气预测优化输出功率，提升新能源消纳率。同时，设备能效监测模块通过分析电机、泵类等设备的运行数据，识别低效工况并自动调整运行模式，使综合能耗降低15%-25%，助力企业实现绿色生产。

3.3 建筑智能化控制

电气自动化技术构建了建筑设备的集中管理与自适应调节体系。在环境控制方面，温湿度传感器与变频空调联动，根据室内外温差与人员密度动态调整制冷/制热功率，能耗降低30%以上；照明系统通过光线传感器与人体感应装置，实现按需照明，避免无效能耗。安全防护层面，视频监控、门禁系统与消防报警模块集成于统一平台，异常事件（如非法入侵、烟雾检测）可触发多设备联动响应，缩短应急处置时间。此外，建筑信息模型（BIM）与自动化控制系统的结合，支持设备运维的预测性维护，提前发现潜在故障，延长设备使用寿命。

3.4 交通运输自动化

电气自动化技术推动交通系统向高效、安全方向演进。在轨道交通中，列车自动控制系统（ATC）通过轨道电路与车载传感器实现速度监控与信号联动，确保行车间隔精准至秒级，提升线路运力；在港口领域，自动化岸桥与无人集卡通过5G通信与高精度定位技术协同作业，完成集装箱的自动装卸与运输，作业效率提升40%。城市交通方面，智能交通信号控制系统根据实时车流数据动态调整配时方案，缓解拥堵路段通行压力；电动汽车充电桩通过自动化计量与支付系统，支持即插即充与远程监控，优化充电资源分配，提升用户体验[3]。

结束语

电气自动化控制技术作为自动化领域的核心驱动力，正通过智能算法、实时通信与集成化架构深刻重塑工业生产、能源管理、建筑运维及交通运输等场景的运作模式。其以高精度感知、自适应决策与高效执行能力，不仅提升了系统运行的稳定性与能效水平，更推动了各行业向柔性化、绿色化方向转型。未来，随着人工智能、数字孪生与边缘计算的深度融合，电气自动化控制技术将进一步突破物理与数字世界的边界，实现全生命周期自主优化，为产业升级与可持续发展提供更强大的技术支撑。

参考文献

[1]程峰义.浅谈智能技术在电气工程自动化控制中的应用[J].新技术与新方法学术研讨会论文集.2024:111-1133.

[2]何胜利.浅谈人工智能技术在电气自动化控制中的应用研究[J].新技术与新方法学术研讨会论文集.2024:211-214.

[3]许荣禄.浅谈电气自动化技术在电力系统运行中的应用[J].2022工程建设与管理三亚论坛论文集.2022:191-195.