

电气自动化技术应用及发展趋势研究

续中华 王 刚 冯维会

北京龙泓电力咨询有限公司 山东 济南 250000

摘 要：电气自动化技术依托控制理论、传感器等核心要素，借助PLC、工业互联网、人工智能等关键支撑，深度融入工业制造、能源电力、建筑交通等多领域，实现生产高效化、能源集约化与管理智能化。当前，其应用显著提升生产效率与系统稳定性。未来，该技术将朝着智能化自主决策、物联网深度融合、绿色低碳可持续、标准化安全化及跨学科创新方向加速发展，为全球产业升级与“双碳”目标实现提供核心动力。

关键词：电气自动化技术；应用；发展趋势

引言：随着新一轮科技革命与产业变革加速推进，电气自动化技术凭借其对生产系统的精准控制与高效协同能力，已成为驱动制造业智能化、能源体系绿色化、基础设施数字化的核心引擎。从工业生产线柔性制造到智能电网动态调度，从建筑设备智能管控到新能源并网优化，其应用边界持续拓展。本文立足技术演进脉络，深度剖析电气自动化在多领域的实践路径与创新模式，系统探讨智能化升级、工业互联网融合等发展趋势，为构建安全、高效、可持续的现代产业体系提供战略参考。

1 电气自动化技术基础理论

1.1 电气自动化的定义与核心组成

电气自动化是借助电气技术、控制理论及计算机技术，实现设备或生产过程自动监测、调节与控制的技术体系，核心组成包含四大要素。控制理论是技术核心，为系统提供控制策略与算法，如PID控制理论，保障系统稳定运行；传感器技术负责采集温度、压力等各类物理量信号，是系统感知外界的“眼睛”；执行机构依据控制指令完成动作，像电机、阀门等，是系统的“手脚”；通信网络则实现各组件间数据传输与交互，确保信息通畅。

1.2 技术体系框架

电气自动化技术体系采用分层结构，各层分工明确、协同工作。感知层由各类传感器构成，实时采集现场数据，为后续处理提供基础；控制层以PLC、控制器等为核心，接收感知层数据，依据控制策略生成指令；决策层依托计算机系统，对控制层上传的数据进行分析、优化，制定整体运行方案，指导控制层工作，形成完整的技术闭环。

1.3 关键技术支撑

(1) PLC（可编程逻辑控制器）技术：具备高可靠性、强抗干扰性，通过梯形图、功能块图等编程语言，

可灵活实现逻辑控制、时序控制，广泛应用于生产线启停、设备联动等场景，是工业自动化的“核心控制器”。

(2) 现场总线与工业以太网：现场总线（如PROFIBUS）实现设备间短距离、高实时性数据传输；工业以太网（如EtherNet/IP）则满足远距离、大数据量交互需求，二者共同构建稳定的工业通信网络，保障系统数据通畅。(3) 人工智能与机器学习融合：通过机器学习算法分析历史运行数据，优化控制参数，如实现设备故障预测性维护；结合人工智能技术，还能让系统自主适应环境变化，提升电气自动化系统的智能化与自适应能力^[1]。

2 电气自动化技术的应用领域

2.1 工业制造领域

(1) 在智能制造生产线中，电气自动化技术实现了全流程无人化操作。以汽车装配线为例，通过PLC控制机械臂完成焊接、涂装、零部件组装等工序，配合传感器实时检测零件精度，生产效率较传统人工线提升30%以上；电子加工领域，自动化设备可精准完成芯片焊接、电路板检测，避免人工操作的误差，保障产品质量稳定性。(2) 机器人协作与柔性制造系统依托电气自动化技术，打破传统生产线的固定流程限制。协作机器人通过力控传感器感知周边环境，能与工人协同完成复杂装配任务；柔性制造系统则可通过程序快速切换生产方案，如同一生产线可灵活切换不同型号手机的组装，满足多品种、小批量的生产需求。

2.2 能源电力行业

(1) 智能电网调度中，电气自动化技术实现了电力负荷的动态监测与调配。通过远程监控系统实时采集各区域用电数据，结合算法自动调整发电功率，避免电力浪费或短缺；分布式能源管理方面，可对太阳能、天然气等分布式能源进行集中管控，实现能源互补利用，提升能源利用效率。(2) 风电与光伏发电场景下，自动化

监控系统发挥关键作用。风速、光照强度传感器实时传输数据,控制系统根据环境变化自动调整风机转速、光伏板角度,确保设备始终处于最佳发电状态,同时实时监测设备运行参数,出现故障时自动报警并启动保护机制,减少停机损失。

2.3 建筑与基础设施

(1)楼宇自动化系统(BAS)通过电气自动化技术实现建筑内设备的智能管控,可自动调节空调温度、照明亮度,根据人员流动情况优化能源消耗,较传统管理方式节能20%-30%;智能安防系统则结合摄像头、红外探测器等设备,实时监测建筑内外异常情况,触发警报时自动联动门禁、照明系统,提升建筑安全性。(2)轨道交通信号控制中,电气自动化技术保障列车运行安全高效。通过信号控制系统自动调度列车运行间隔,实时反馈列车位置信息,避免追尾、越站等事故,同时实现站台与列车门的精准对齐,提升乘客乘车体验^[2]。

2.4 农业与环保领域

(1)精准农业中,电气自动化技术推动种植模式升级。自动化灌溉系统根据土壤湿度传感器数据,按需为作物供水;自动化施肥设备结合作物生长阶段与土壤养分情况,精准施加肥料,减少水资源与化肥浪费,提高作物产量15%左右。(2)污水处理自动化控制系统通过PLC控制格栅、沉淀池、曝气池等设备的运行,传感器实时检测污水水质、水量,自动调整处理工艺参数,确保出水水质达标,同时减少人工值守成本,提升污水处理效率。

2.5 交通运输行业

(1)自动驾驶技术依赖电气自动化技术实现多系统协同。毫米波雷达、摄像头等感知设备采集路况信息,控制系统快速分析数据并下达指令,控制车辆转向、刹车、加速,目前L2级自动驾驶已广泛应用,可辅助完成车道保持、自适应巡航等功能。(2)港口物流自动化装卸系统中,自动化龙门吊、无人集卡通过电气自动化技术协同作业,龙门吊根据系统指令精准抓取集装箱,无人集卡自动规划路线运输货物,大幅减少港口人工成本,装卸效率提升40%,缩短船舶停靠时间。

3 电气自动化技术发展趋势

3.1 智能化与自主化

(1)AI算法正深度优化电气自动化控制策略,预测性维护成为重要方向。通过采集设备运行数据,结合机器学习算法分析故障前兆,可提前预警设备潜在问题,如工业电机运行中,AI能根据振动、温度数据预测轴承磨损情况,将故障停机时间缩短50%以上;自适应控制

则让系统可实时调整参数,应对环境变化,例如化工反应罐中,AI算法能根据原料成分波动自动调节温度、压力,保障反应效率稳定。(2)自主决策系统在复杂环境中的应用逐步拓展。在智能工厂中,面对多生产线协同、物料调度等复杂任务,自主决策系统可结合实时数据制定最优方案,无需人工干预;在无人矿山场景,自动化采矿设备能自主规避障碍、规划开采路径,适应恶劣且多变的作业环境^[3]。

3.2 物联网与工业互联网融合

(1)设备互联推动数据驱动的远程运维普及。依托物联网技术,工业设备可实时上传运行数据至云端平台,运维人员通过电脑或手机即可远程监测设备状态,实现故障诊断与参数调整,如偏远地区的风电设备,无需现场值守,通过远程运维可降低运维成本30%;数据融合分析还能优化整体系统运行效率,例如多工厂设备数据联动,可实现产能动态分配。(2)数字孪生技术在生产仿真中发挥关键作用。通过构建物理设备的虚拟模型,映射设备实时运行状态,可在虚拟环境中模拟生产流程优化、故障排查等操作,如汽车生产线数字孪生系统,能提前模拟新车型装配流程,发现工艺问题并调整,减少实际生产线调试时间;在电力系统中,数字孪生可模拟电网负荷变化,优化调度方案。

3.3 绿色化与可持续发展

(1)节能优化算法在工业系统中加速推广。通过算法优化设备运行模式,减少能源消耗,如工业空调系统中,节能算法可根据车间人数、温度需求动态调节运行功率,较传统模式节能25%-40%;在数据中心,电气自动化系统结合节能算法,优化服务器运行与散热方案,降低整体能耗。(2)新能源并网与微电网控制技术不断升级。为适应风电、光伏等新能源出力波动特点,自动化技术可实现新能源与传统电网的平滑并网,通过实时调节逆变器参数,保障电网电压、频率稳定;微电网控制技术则能整合区域内新能源、储能设备,实现能源自主调配,如社区微电网可优先使用光伏发电,余电储存或并网,提升清洁能源利用率。

3.4 标准化与安全性提升

(1)工业控制系统安全协议逐步完善,IEC62443等标准广泛应用。该标准明确了工业自动化系统的安全防护要求,从设备安全、网络安全到数据安全形成完整体系,可有效抵御网络攻击,如防止黑客入侵PLC系统篡改控制指令,保障工业生产安全;同时,标准化推动不同厂商设备互联互通,降低系统集成难度与成本。(2)边缘计算与本地化处理成为隐私保护的重要手段。边缘计

算将数据处理任务放在靠近设备的边缘节点,避免敏感数据上传云端,减少数据泄露风险,如智能工厂中,生产数据在本地边缘服务器处理,仅上传分析结果,保护企业生产隐私;在医疗设备自动化控制中,患者数据本地化处理,符合隐私保护法规要求^[4]。

3.5 跨学科技术融合

(1) 5G通信为电气自动化实时控制提供支撑。5G的低时延(毫秒级)、高带宽特性,满足自动化系统对实时数据传输的需求,如远程手术机器人控制中,5G可确保操作指令无延迟传递,保障手术精准性;在自动驾驶领域,5G支持车辆与路侧设备、其他车辆实时通信,提升行驶安全性。(2) 区块链技术在供应链自动化中崭露头角。通过区块链的去中心化、不可篡改特性,可实现供应链数据透明可追溯,如工业零部件采购中,区块链能记录零部件生产、运输、质检等全流程数据,自动化系统可基于这些可信数据实现精准溯源与库存管理;在能源交易中,区块链可支撑分布式能源点对点交易,实现自动化结算。

4 挑战与对策分析

4.1 技术瓶颈

(1) 高精度传感器是电气自动化系统精准运行的基础,但当前面临成本与可靠性双重问题。用于工业检测的高精度温度、压力传感器,核心元件依赖进口,单价普遍较高,中小制造企业难以大规模应用;同时,在高温、高粉尘等恶劣工业环境中,传感器易受干扰导致数据偏差,如钢铁生产车间的传感器,频繁出现测量误差,影响生产流程稳定性。(2) 复杂系统中的算法鲁棒性不足,难以应对多变场景。在智能电网调度等复杂系统中,当面临极端天气、设备突发故障等突发情况时,现有控制算法易出现决策延迟或偏差;例如风电系统遭遇强阵风时,算法无法快速调整风机运行参数,可能导致设备过载损坏,影响发电效率。

4.2 人才与教育缺口

电气自动化技术的跨学科特性,催生了对复合型技术人才的迫切需求。当前行业缺乏同时掌握电气控制、计算机编程与生产管理的人才:部分技术人员虽熟悉电气设备操作,但缺乏数据分析与算法优化能力;计算机专业人才则对工业设备运行逻辑了解不足,难以适配自动化系统开发需求。高校传统教育体系中,电气与计算机专业课程衔接不足,导致毕业生难以快速满足企业岗

位要求。

4.3 行业标准化滞后

跨厂商设备兼容性与数据接口规范缺失,制约了电气自动化系统的集成应用。不同厂商的PLC、传感器等设备,采用各自独立的通信协议与数据格式,如A厂商的自动化控制系统与B厂商的传感器无法直接对接,需额外开发适配程序,增加系统集成成本与复杂度;同时,数据接口缺乏统一标准,导致不同企业的生产数据难以共享,阻碍了工业互联网平台的跨企业协同应用。

4.4 对策建议

(1) 加强产学研合作,推动技术迭代。高校与科研机构可联合企业建立实验室,针对高精度传感器的国产化研发、复杂算法的鲁棒性优化等问题开展攻关,降低传感器成本并提升可靠性;企业为科研提供实际应用场景与资金支持,加速技术成果转化,如合作研发适应恶劣环境的工业传感器,解决测量偏差问题。(2) 制定行业安全标准与伦理规范。行业协会应牵头制定统一的设备通信协议与数据接口标准,实现跨厂商设备互联互通;同时,明确电气自动化系统的安全防护要求与伦理边界,如针对AI控制算法的决策透明度、数据隐私保护等制定规范,保障技术安全合规应用。

结束语

电气自动化技术作为推动现代产业变革的核心力量,正深刻重塑生产模式与能源格局。本文通过对其应用场景的梳理与技术发展的剖析,揭示了其在提升效率、降低能耗、促进产业协同中的关键作用。面向未来,随着人工智能、工业互联网等技术的深度融合,电气自动化将向更智能、更绿色、更安全的方向演进,为全球工业升级与可持续发展提供坚实的技术支撑与创新驱动。

参考文献

- [1]王忠武.浅谈电气工程自动化及其节能设计的应用[J].中国设备工程,2023,(23):215-217.
- [2]韩井利.电气自动化在电气工程中的融合运用分析[J].中国新通信,2023,(09):85-87.
- [3]李巍.电气自动化技术在电力工程中的应用分析[J].光源与照明,2023,(11):116-118.
- [4]王洪洋.浅析电气自动化工程控制系统的现状及发展[J].中国设备工程,2021,(13):129-130.