

电气自动化在工业生产中的应用与发展趋势研究

姚云飞

410181198605157577

摘要: 在工业 4.0 浪潮与智能制造转型的双重驱动下, 电气自动化技术已成为重塑工业生产模式、提升产业核心竞争力的关键支撑。本文基于电气自动化技术的核心内涵, 系统梳理其在智能配电、连续生产控制、物流装卸等工业场景的典型应用, 结合当前技术发展现状与产业环境, 深入剖析制约技术落地的核心瓶颈, 最终预判智能化、绿色化、集成化及国产化替代四大发展趋势。研究表明, 电气自动化技术的深度应用可显著提升生产效率、降低能耗成本, 未来需通过技术融合与生态构建实现高质量发展, 为制造业转型升级提供有力保障。

关键词: 电气自动化; 工业生产; 智能制造

DOI: 10.64216/3080-1508.26.02.044

引言

随着新型工业化战略推进, 传统工业生产模式面临效率低、能耗高、质量管控滞后等挑战。电气自动化技术凭借精准控制、实时监测、智能调度优势, 取代传统人工与机械控制, 成为工业生产转型升级核心引擎。它融合 PLC、DCS、IIoT 等技术, 实现工业生产全流程数字化、智能化管控, 提升了生产效率与产品质量, 降低了安全风险与能源消耗。行业数据显示, 中国电气与自动化行业市场规模突破 2.8 万亿元, 年均复合增长率约 7.5%, 工业自动化控制系统占比 32%, 是行业增长核心支柱。政策上, “十四五”规划提出加快制造业智能化改造, 推动关键零部件与核心软件自主可控, 为其发展提供良好环境。因此, 系统研究电气自动化在工业生产中的应用现状与发展趋势, 对推动制造业高质量发展、提升产业国际竞争力有重要理论与实践意义。

1 电气自动化在工业生产中的核心应用场景

1.1 智能工厂供配电自动化监控

供配电系统是工业生产的能源核心, 其稳定性与经济性直接决定了生产活动的连续性与效益。传统供配电系统存在负荷波动大、故障排查效率低、电能质量管控滞后等问题, 难以满足现代化工业生产的需求。电气自动化技术通过构建“硬件采集-通信传输-软件管控”的分层分布式供配电监控系统, 实现了能源的精细化管理。

在某新能源装备制造工厂的应用案例中, 该工厂通过部署智能真空断路器、PLC 控制器、分布式 IO 模块等硬件设备, 构建了覆盖高压侧与低压侧的全维度数据采集网络; 通信层面采用工业以太网环网拓扑与无线 LoRa 技术相结合的方式, 确保数据传输的实时性与稳定性, 时钟同步误差控制在 1ms 以内; 软件层面基于 WinCC 开发监控界面, 集成负荷预测、无功优化、能耗

分析等功能模块, 通过 LSTM 神经网络模型实现负荷预测, 采用遗传算法优化电容投切策略。系统投用后, 工厂配电系统可靠性提升至 99.95%, 年均停电时间从 48 小时降至 8 小时, 综合能耗降低 22%, 年节约电约 80 万度, 成功通过省级“绿色工厂”能效评估。

1.2 冶金行业连铸机自动化控制

冶金行业属于连续生产型行业, 对生产过程的稳定性与精准性要求极高。以连铸机生产为例, 传统“继电器+模拟量控制”模式存在拉速波动大、漏钢事故频发、铸坯质量差等问题, 严重制约了生产效率与经济效益。电气自动化技术通过多 CPU 协同控制、高精度伺服驱动与视觉检测的深度融合, 实现了连铸机生产全流程的精准管控。

某钢铁企业 3 号连铸机通过自动化改造, 采用罗克韦尔 ControlLogix 双 CPU 冗余控制器, 实现了结晶器振动、拉矫机速度、二次冷却等关键环节的分区域精准控制; 驱动层面采用安川 $\Sigma-7$ 系列伺服电机与 ABB ACS880 变频器, 配合高精度编码器, 将拉速控制精度提升至 $\pm 0.05\text{m/min}$; 同时部署高速工业相机与 YOLOv5 算法, 实现铸坯表面裂纹、夹渣等缺陷的实时检测, 检测精度达 0.5mm。通过建立“液位偏差-拉速调整量-冷却水量补偿”的耦合模型, 采用模糊 PID 算法动态调整参数, 漏钢率从 1.2% 降至 0.3% 以下, 铸坯合格率从 97.5% 提升至 99.2%, 年增产优质钢坯约 5 万吨, 直接经济效益超 3000 万元。

1.3 港口集装箱装卸自动化作业

港口物流作为国际贸易的核心枢纽, 其作业效率直接影响全球供应链的畅通。传统港口集装箱装卸采用人工操作模式, 存在作业效率低、劳动强度大、堆场利用率低等问题。电气自动化技术通过构建“远程自动化岸

桥+无人场桥+智能调度”一体化系统，实现了集装箱装卸全流程的无人化作业。

某内河集装箱码头通过自动化改造，在岸桥配置 SICK LMS511 激光雷达与高清工业相机，采用“激光+视觉”融合算法实现吊具定位，精度达 $\pm 5\text{mm}$ ；场桥通过 RFID 定位标签与编码器实现精准定位，配合风速传感器实现安全锚定控制；控制层面通过工业互联网实现岸桥、场桥与堆场管理系统（YMS）的无缝对接，构建智能调度模型，优化作业路径。改造后，单箱装卸时间从 45 分钟缩短至 20 分钟，堆场利用率从 60% 提升至 85%，显著提升了港口作业效率，降低了人工成本。

2 电气自动化在工业生产应用中的核心技术支撑

2.1 PLC 与 DCS 控制技术

PLC 作为电气自动化系统的“大脑”，具备编程灵活、响应速度快、可靠性高的特点，能够实现复杂工序的逻辑控制与顺序控制。在工业生产中，PLC 通过接收传感器采集的现场数据，按照预设程序驱动执行机构动作，实现生产过程的自动化控制。DCS 系统则采用分布式架构，能够实现大规模工业生产的集中监控与分散控制，适用于流程工业如化工、冶金等领域的连续生产管控。两者的协同应用，既保证了局部工序的精准控制，又实现了整体生产的统筹调度，是电气自动化技术的核心支撑。

2.2 工业物联网（IIoT）与边缘计算技术

工业物联网技术通过将传统电气设备接入网络，实现了设备间的数据互通与协同工作。在电气自动化系统中，工业物联网技术依托传感器、边缘网关等设备，实现生产过程中电流、电压、温度、压力等关键参数的实时采集。边缘计算技术则在数据采集端实现本地数据处理与分析，无需将所有数据上传至云端，显著提升了数据处理效率，降低了网络传输压力。例如，在电机运维中，边缘节点可实时分析振动传感器数据，判断轴承磨损趋势，实现故障预警，响应时间小于 10ms，为设备的预测性维护提供了技术支撑。

2.3 数据采集与监控（SCADA）技术

SCADA 系统是电气自动化系统的可视化管控核心，通过图形化界面实时展示生产过程中的设备状态、工艺参数等信息，支持远程启停控制、参数调整与故障报警。在工业生产中，SCADA 系统能够实现生产全流程的实时监控，当出现参数异常或设备故障时，及时发出报警信号，并记录故障前后的关键数据，为故障排查与分析提供依据。例如，在供配电系统中，SCADA 系统可实

时展示配电网拓扑与电能参数，支持远程分合闸操作，故障排查时间从 30 分钟缩短至 5 分钟。

2.4 能源管理系统（EMS）技术

在“双碳”目标驱动下，能源管理成为工业生产的重要环节。EMS 系统通过融合智能电表、能耗分析算法等技术，实现工业生产过程中的能耗统计、能效分析与节能优化。该系统能够按车间、设备维度统计能耗数据，识别高耗能环节，结合生产排程动态调整能源调度策略，如谷段多启设备、峰段调整负荷，实现能源的高效利用。在某汽车零部件制造企业，EMS 系统通过分析发现冷却泵空转问题，停用后年节省电费超 12 万元，显著提升了能源利用效率。

3 电气自动化在工业生产应用中面临的挑战

3.1 技术融合难度大，设备兼容性不足

当前工业生产场景中，不同厂商的电气设备如 PLC、传感器、变频器等存在通信协议不兼容的问题，导致数据难以互联互通。同时，部分老旧工厂仍保留大量传统设备，这些设备缺乏智能接口，难以接入现代化电气自动化系统，升级改造难度大、成本高。此外，电气自动化技术与工艺技术的融合深度不足，部分自动化系统仅实现了设备的简单联动，未充分结合生产工艺特点进行优化，影响了技术应用效果。

3.2 数据安全风险凸显，防护体系不完善

随着电气自动化系统与工业互联网的深度融合，设备联网数量大幅增加，网络攻击面显著扩大。工业生产数据包含工艺参数、生产计划等核心信息，一旦遭受网络攻击，可能导致生产中断、数据泄露等严重后果。目前，部分企业对工业数据安全重视不足，未建立完善的安全防护体系，存在工业内网与办公网未隔离、设备固件未及时更新、缺乏专业入侵检测系统等问题，数据安全风险居高不下。

3.3 专业人才短缺，技能水平滞后

电气自动化技术的运维与优化需要具备电气控制、编程开发、数据分析等多领域知识的复合型人才。当前，传统电工缺乏 PLC 编程、SCADA 系统操作、数据分析等专业技能，难以满足自动化系统运维的需求。同时，高校相关专业人才培养与企业实际需求存在脱节，企业内部培训体系不完善，导致专业人才短缺问题日益突出，制约了电气自动化技术的深度应用与升级。

3.4 国产化替代进程缓慢，核心技术受制于人

在高端电气自动化核心零部件如 IGBT 模块、高端 PLC 芯片、高精度传感器等领域，国际巨头如西门子、

ABB、施耐德仍占据主导地位。尽管国内企业如汇川技术、正泰电器等在中端市场取得了一定突破，但在高端产品领域，技术性能与国际先进水平仍存在差距，国产化率不足 50%。核心技术受制于人，不仅增加了企业的采购成本，还存在供应链安全风险。

4 电气自动化在工业生产中的发展趋势

4.1 智能化：AI 与数字孪生深度融合

人工智能(AI)技术将与电气自动化系统深度融合，实现从“被动响应”到“主动预测”的转变。通过训练机器学习模型，分析设备运行数据如振动、温度、电流等，实现电机绝缘老化、轴承磨损等潜在故障的精准预测，降低非计划停机次数。某化工厂应用 AI 预测性维护技术后，非计划停机次数减少 60%，显著提升了生产稳定性。同时，数字孪生技术将广泛应用于电气自动化系统，通过构建物理设备的虚拟镜像，模拟不同工况下的设备运行状态，优化布线路径、散热布局等设计方案，减少试错成本，提升系统设计效率。

4.2 绿色化：聚焦能效优化与新能源整合

在“双碳”目标驱动下，绿色化将成为电气自动化技术的核心发展方向。未来，电气自动化系统将进一步强化能效优化功能，通过融合大数据分析 with 智能调度算法，实现能源的动态优化配置。同时，随着光伏、风电等可再生能源的快速发展，电气自动化技术将承担起新能源与传统电网协同运行的核心职责，发展具备能量调度功能的微网控制器，实现自发自用、余电上网的灵活模式，提升能源利用效率。预计到 2030 年，绿色节能型电气自动化设备在工业领域的渗透率将超过 60%。

4.3 集成化：构建全流程智能管控体系

未来，电气自动化系统将打破设备与系统间的信息壁垒，实现与制造执行系统(MES)、企业资源计划(ERP)系统的深度集成，构建覆盖生产计划、执行、管控、分析的全流程智能管控体系。通过数据的全流程贯通，实现生产计划的精准制定、生产过程的实时优化、生产质量的全程追溯，提升企业的整体运营效率。同时，OPC UA 等统一通信协议将得到广泛应用，解决不同厂商设备的兼容性问题，推动形成开放、互联的工业生态。

4.4 国产化：核心技术自主可控加速推进

在政策支持与市场需求的双重驱动下，国产电气自动化核心技术的自主可控进程将加速推进。国内企业将

加大研发投入，聚焦 IGBT 模块、高端 PLC 芯片、高精度传感器等关键核心部件的技术攻关，提升产品性能与可靠性。预计到 2030 年，国产工业自动化品牌在国内市场的占有率将超过 70%。同时，国内企业将积极拓展“一带一路”沿线市场，凭借性价比优势与定制化服务能力，提升国际市场竞争力，推动中国电气自动化技术标准走向全球。

5 结论

电气自动化技术作为工业生产转型升级的核心引擎，已在智能配电、冶金制造、港口物流等多个领域实现深度应用，通过精准控制、实时监测与智能调度，显著提升了生产效率、降低了能耗成本、保障了生产安全。尽管当前技术应用仍面临技术融合难、数据安全风险高、专业人才短缺、国产化进程缓慢等挑战，但未来随着 AI、数字孪生、新能源整合等技术的深度赋能，电气自动化技术将朝着智能化、绿色化、集成化、国产化的方向持续演进。

为推动电气自动化技术的深度发展与应用，企业应加强技术融合与设备升级，构建完善的数据安全防护体系，加大专业人才培养力度；政府应持续出台政策支持核心技术研发，推动行业标准体系建设。相信通过政企协同发力，电气自动化技术将为制造业高质量发展提供更坚实的支撑，助力中国实现从制造大国向制造强国的跨越。

参考文献

- [1] 崔学森. 电气自动化系统在工业生产中的应用研究[J]. 产业创新研究, 2025, (18): 74-76.
- [2] 董好友, 白志. 电气自动化控制技术在冶金工业中的应用研究[J]. 造纸装备及材料, 2025, 54(08): 31-33.
- [3] 刘平芳. 电气自动化在工业生产中的关键作用[C]/广西网络安全和信息化联合会. 第十届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集. 上海: 智飞电子科技有限公司; , 2025: 167-169. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2025.041566.
- [4] 杨凤, 杨乐. 电气自动化控制技术在工业生产中的智能化应用[J]. 电子元器件与信息技术, 2025, 9(04): 178-180+184. DOI: 10.19772/j.cnki.2096-4455.2025.04.054.