

电气工程及其自动化的智能化技术应用探析

张楚涵

临沂大学

DOI:10.12238/etd.v6i6.16817

[摘要] 新一轮科技革命与产业变革下,智能化技术深度渗透传统工程领域,电气工程及其自动化作为现代工业基石与能源系统核心,正经历智能化变革。本文系统探析智能化技术在电气工程及其自动化领域的应用现状、价值、挑战及趋势。先阐述融合的时代背景与内涵,再从智能电网、智能制造等核心场景剖析具体应用模式与成效。同时,深入探讨数据安全、系统互操作性等技术挑战,并展望数字孪生、边缘智能等前沿趋势。研究表明,智能化技术是提升电气系统性能、构建新型电力系统及实现“双碳”目标的关键支撑,推动二者深度融合,对产业升级、保障国家能源安全意义重大。

[关键词] 电气工程; 自动化; 智能化技术; 人工智能; 物联网; 大数据; 智能电网; 状态监测

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A

Analysis on the Application of Intelligent Technology in Electrical Engineering and Automation

Chuhan Zhang

Linyi University

[Abstract] Under the new round of technological revolution and industrial transformation, intelligent technologies are deeply penetrating traditional engineering fields. As the cornerstone of modern industry and the core of energy systems, electrical engineering and automation are undergoing an intelligent transformation. This paper systematically analyzes the application status, value, challenges, and trends of intelligent technologies in the field of electrical engineering and automation. Firstly, it elaborates on the era background and connotation of integration, and then analyzes specific application modes and effects from core scenarios such as smart grids and intelligent manufacturing. Meanwhile, it deeply discusses technical challenges such as data security and system interoperability, and looks forward to cutting-edge trends such as digital twins and edge intelligence. The research shows that intelligent technology is a key support for improving the performance of electrical systems, building new power systems, and achieving the "double carbon" goal. Promoting the deep integration of the two is of great significance for industrial upgrading and ensuring national energy security.

[Key words] Electrical Engineering; Automation; Intelligent Technology; Artificial Intelligence; Internet of Things; Big Data; Smart Grid; Condition Monitoring

引言

电气工程及其自动化(EEA)是集强弱电、软硬件、理论与实践于一体的综合性学科,在推动社会工业化、信息化进程中作用关键。进入21世纪,全球能源格局重塑,“双碳”目标成国家战略,第四次工业革命催生新业态,传统EEA技术面临系统复杂、不确定性增加、用户需求多元等挑战。在此背景下,智能化技术(如AI、大数据等)成为破解难题的关键,赋予传统电气系统闭环智能能力,使其从被动响应进化为主动感知、协同运行的智能体,实现了范式转移,重构了设计、运行和管理方式。本文旨在系统性梳理智能化技术在EEA领域的应用,构建全景分析框架,剖析其对关键环节的赋能、核心价值及融合挑战,为研究者、工程师

和政策制定者提供参考,推动EEA向更高层次智能化迈进。

1 智能化技术与电气工程融合的内涵与驱动力

1.1 智能化技术的核心构成

智能化技术是多元要素构成的有机生态系统。物联网是“神经末梢”,在电气关键节点部署传感器与智能终端,实现物理世界状态泛在感知,提供海量数据。大数据技术承接数据,高效存储管理多源异构数据,经处理转化为高质量信息流。人工智能尤其是机器学习与深度学习算法模型,是“智慧大脑”,能从数据中学习规律、预测趋势、生成决策^[1]。云计算与边缘计算搭建“计算平台”,云计算提供集中算力,支撑复杂模型训练与大规模仿真;边缘计算下沉智能至网络边缘,满足电气系统低时

延、高可靠实时控制需求。5G及未来6G通信技术作为“信息高速公路”，保障系统内信息流畅通，为全域协同控制奠定通信基础。

1.2 融合的内在驱动力

智能化技术与电气工程深度融合，驱动力多元深刻。全球能源转型迫切需求是首要因素，“双碳”目标下，构建新型电力系统成国家战略，可再生能源的间歇性与波动性挑战传统电网，智能化技术提供系统性解决方案。产业升级内在要求也不容忽视，工业4.0时代制造业向柔性化、个性化、智能化发展，底层电气自动化系统需更强感知、分析与自适应能力。提升系统可靠性与安全性是电气工程核心关切，传统维护模式难满足需求，智能化运维模式实现风险关口前移，从“治已病”到“治未病”。优化能效与降低运营成本的经济动因，为企业提供市场拉力，通过精细化管理能源与信息流，降低能耗与运维开支，获得成本优势。

2 智能化技术在电气工程中的核心应用场景探析

2.1 智能电网：能源互联网的神经中枢

智能电网是智能化技术应用最成熟、最广泛的领域，其目标是构建一个“坚强、自愈、兼容、经济、集成、优化”的现代化电网。①高级量测体系(AMI)与需求侧响应(DSR)：基于智能电表的AMI系统实现了用户用电信息的分钟级甚至秒级采集。结合大数据分析，电网公司可以精准描绘用户负荷画像，实施动态电价策略。AI算法则能预测短期负荷，并通过激励机制引导用户在电网高峰时段主动削减或转移负荷，实现削峰填谷，提升电网资产利用率。②新能源功率预测与优化调度：风光等可再生能源出力具有强随机性和波动性。利用深度学习模型(如LSTM、CNN)融合气象卫星、地面观测站等多源数据，可实现高精度的超短期、短期功率预测。基于此预测结果，电网调度中心可以提前优化火电、水电、储能等可调资源的出力计划，平抑新能源波动，保障电网安全稳定运行^[2]。③电网故障自愈与韧性提升：当电网发生故障时，基于广域测量系统(WAMS)的实时数据，AI驱动的智能保护与控制系统能够快速、准确地定位故障点，并通过自动重构配电网拓扑(如合环、转供)，在数秒内隔离故障区域并恢复非故障区域的供电，实现“自愈”功能，极大缩短停电时间。

2.2 智能制造：工厂自动化的智慧引擎

在工业领域，智能化的电气自动化系统是实现智能制造的核心。①柔性生产线与智能控制：传统的刚性生产线难以适应多品种、小批量的生产需求。通过将PLC、工业机器人、AGV小车等设备接入工业物联网(IIoT)平台，并利用AI算法进行实时调度与协同控制，可以构建高度柔性的生产线。例如，AI可以根据订单需求、设备状态和物料库存，动态规划最优的生产路径和任务分配。②预测性维护(PdM)：这是智能化技术在工业设备维护领域的革命性应用。通过在电机、变压器、变频器等关键电气设备上部署振动、温度、电流、局放等传感器，持续采集运行数据。利用机器学习模型(如支持向量机SVM、随机森林RF或深度神经网络DNN)对这些数据进行分析，可以精准预测设备的剩

余使用寿命(RUL)和潜在故障模式。相比于传统的定期检修或事后维修，PdM能够将维护工作安排在最合适的时间，避免非计划停机，延长设备寿命，降低维护成本高达30%以上。

2.3 智能建筑与综合能源管理：绿色生活的智慧管家

建筑能耗占全球总能耗的比重巨大，智能化技术为建筑节能提供了全新路径。①楼宇自动化系统(BAS)的智能化升级：传统的BAS主要基于预设规则进行控制。引入AI后，系统能够学习建筑的热力学特性、人员流动规律和外部天气变化，通过强化学习等算法，自主优化暖通空调(HVAC)、照明等系统的运行策略，在保证舒适度的前提下，实现能耗最小化。②微电网与分布式能源管理：现代建筑越来越多地集成屋顶光伏、储能电池、电动汽车充电桩等分布式能源资源(DERs)。一个智能化的能源管理系统(EMS)能够实时监测这些资源的发电、用电和储能状态，结合电价信号和用户偏好，利用优化算法(如模型预测控制MPC)进行经济调度。例如，在电价低谷时充电，在高峰时放电或使用光伏，最大化经济效益和能源自给率。

2.4 电气设备状态监测与故障诊断：从“治已病”到“治未病”这是智能化技术在保障电力设备安全方面最直接的体现

①多源信息融合诊断：单一传感器的信息往往不足以准确判断复杂故障。智能化系统通过融合电气量(电流、电压、功率因数)、非电量(振动、声学、红外热像)以及设备历史数据、环境数据等多源信息，构建更全面的设备健康画像。深度学习中的多模态融合技术在此展现出强大优势^[3]。②基于深度学习的故障模式识别：卷积神经网络(CNN)擅长处理图像数据，可用于分析红外热像图以识别设备过热点；循环神经网络(RNN)及其变体擅长处理时序数据，可用于分析振动信号或局部放电信号以识别机械或绝缘故障。这些模型能够自动提取故障特征，识别精度远超传统阈值报警方法。

3 融合过程中的关键挑战与应对策略

尽管前景广阔，但智能化技术与电气工程的深度融合仍面临诸多严峻挑战。

3.1 数据安全与隐私保护

电气系统是国家关键基础设施，其数据安全至关重要。海量终端设备的接入极大地扩展了攻击面，数据在采集、传输、存储、处理的全生命周期都面临被窃取、篡改或破坏的风险。此外，用户用电数据也涉及个人隐私。应对策略包括：构建纵深防御体系，采用端到端加密、区块链等技术保障数据安全；制定严格的数据分级分类和访问控制策略；遵循GDPR等隐私保护法规，采用数据脱敏、联邦学习等隐私计算技术。

3.2 系统互操作性与标准缺失

当前市场上的智能化设备和系统往往来自不同厂商，采用私有协议和数据格式，形成了一个“数据孤岛”，严重阻碍了系统间的协同与数据价值的深度挖掘。解决之道在于大力推动开放标准(如IEC61850、OPCUA)的普及和应用，构建统一的数据模型和接口规范，发展基于微服务架构的开放式平台，实现“即插即用”的互操作性。

3.3 技术人才结构性短缺

智能化融合催生了对“电气+IT+AI”复合型人才巨大需求。然而,传统电气工程教育偏重硬件和强电,而计算机科学教育又缺乏对电力系统物理特性的深刻理解^[4]。这种人才断层已成为制约行业发展的瓶颈。高校和企业需要协同改革人才培养模式,开设交叉学科课程,加强产学研合作,培养既懂电气工程原理又精通数据科学和AI算法的新型工程师。

3.4 算法可靠性与可解释性

AI模型,特别是深度学习模型,常被视为“黑箱”,其决策过程缺乏透明度和可解释性。在关乎人身和电网安全的电气工程领域,一个无法解释的错误决策可能是灾难性的。因此,必须高度重视算法的可靠性验证和可解释性研究。需要建立严格的测试验证流程,利用仿真平台和数字孪生技术对AI模型进行充分验证;同时,积极研究可解释AI(XAI)技术,让模型的决策逻辑能够被工程师理解和信任。

4 未来发展趋势展望

展望未来,智能化技术与电气工程的融合将向更深层次、更广维度演进。

4.1 数字孪生(DigitalTwin)的深度应用

数字孪生技术将为物理电网或工厂构建一个高保真的、实时同步的虚拟镜像。在这个虚拟空间中,可以进行设备全生命周期管理、运行状态实时监控、故障模拟推演、控制策略预演优化等,实现“在虚拟中试错,在物理中执行”,极大提升系统的设计、运维和决策水平。

4.2 边缘智能(EdgeAI)的普及

随着AI芯片性能的提升和成本的下降,越来越多的智能推理能力将被部署到边缘设备(如智能断路器、电机驱动器)上。这不仅能实现毫秒级的本地实时响应,还能有效减轻云端负担,提升系统整体的鲁棒性和隐私性。

4.3 自主协同的多智能体系统

未来的电气系统将由无数个具备自主决策能力的智能体(如智能光伏逆变器、智能储能单元、智能负荷)组成。它们通过分布式AI算法进行自主协同,无需中央控制器的指令,即可自

发地实现全局优化目标(如电压稳定、频率调节),形成一个高度自组织、自适应的智能生态系统。

4.4 AIforScience(AI4S)驱动的基础理论创新

AI不仅作为工具应用,更将反向推动电气工程基础理论的发展。例如,利用AI强大的模式识别和优化能力,可能发现新的电力系统稳定判据、设计出性能更优的电力电子拓扑结构,或加速新材料的研发进程。

5 结语

电气工程及其自动化智能化转型正加速推进。本文系统探析表明,AI、IoT、大数据等智能化技术正深度重塑发电、输电、配电、用电全产业链,在智能电网、智能制造等核心场景中,展现出提升系统效率、增强安全韧性等巨大价值。但变革之路充满挑战,数据安全、标准缺失、人才断层等问题亟待解决,需学术界、产业界和政府携手,通过技术创新、标准建设等举措攻克难关。展望未来,数字孪生、边缘智能等前沿技术将成熟应用,一个更智能、高效、绿色、安全的电气化世界即将到来。智能化技术是电气工程发展的必然,也是支撑国家能源战略、实现“双碳”目标的关键,唯有深化融合,才能为人类可持续发展贡献电气力量。

[参考文献]

- [1]马兆后.电气工程及其自动化技术的智能化应用研究[J].时代汽车,2025,(20):31-33.
- [2]赵岩领.电气工程及其自动化智能化技术应用分析[C]//广西大学广西县域经济发展研究院.2025年第四届工程技术数智赋能县域经济城乡融合发展学术交流论文集.河南登达劳务有限公司,2025:18-19.
- [3]王国栋.电气工程及其自动化智能化技术应用分析[J].自动化应用,2025,66(S1):208-210+214.
- [4]孙音华.电气工程及其自动化的智能化技术应用[C]//广西网络安全和信息化联合会.2025年第六届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流论文集.杭州申虞建设工程有限公司,2025:190-191.