

智能化背景下电气工程技术发展研究

卢金龙

邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司, 河北 邢台 054000

[摘要]智能化技术正处在这个阶段,正在改变电气工程的技术体系和产业形态。人工智能已经被应用到电力电子以及电驱动系统全过程当中,即设计阶段的参数设置和拓扑优化、控制阶段的智能控制策略、运维阶段的状态检测和故障预估。系统整理智能化背景下电气工程发展基础、关键技术、策略,有利于把握技术发展的方向。人工智能同电气工程的融合正在促使行业由依靠经验来驱动转变为依靠数据和智能决策来驱动,技术协同以及保障体系的完备是达成智能化转型的重要支撑。

[关键词]智能化; 电气工程; 智能运维

DOI: 10.33142/sca.v9i7.20013

中图分类号: TP18

文献标识码: A

Research on the Development of Electrical Engineering Technology under the Background of Intelligence

LU Jinlong

Xingtai Naknor Technology Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China

Abstract: Intelligent technology is at this stage, changing the technical system and industrial form of electrical engineering. Artificial intelligence has been applied to the entire process of power electronics and electric drive systems, including parameter setting and topology optimization in the design phase, intelligent control strategies in the control phase, and state detection and fault prediction in the operation and maintenance phase. Systematically organizing the development foundation, key technologies, and strategies of electrical engineering under the background of intelligence is beneficial for grasping the direction of technological development. The integration of artificial intelligence and electrical engineering is driving the industry from being driven by experience to being driven by data and intelligent decision-making. Technological collaboration and the completeness of the support system are important supports for achieving intelligent transformation.

Keywords: intelligence; electrical engineering; intelligent operation

引言

伴随着新一代信息技术的迅猛发展,智能化成了电气工程领域技术革新主要的推动力。人工智能、物联网、大数据分析等技术的成熟给电气工程的设计、控制、运维等全生命周期注入了新动力。目前,电力系统规模越来越大、结构越来越复杂,新能源大规模接入给电网稳定性、灵活性带来更高的要求,工业自动化、智能交通等领域也产生了新的需求牵引。智能化信息科技的应用可以给企业管理和工程品质带来明显提高,智能化水平对于产业的发展起着重要的推动作用,未来电气工程必然会朝着智能化方向发展。在此情况下,从智能感知、数字通信、关键技术以及发展策略等各个方面系统地考察智能化电气工程技术的发展途径,有重大的理论和现实意义。

1 智能化背景下电气工程技术发展概述

智能化技术的加入把电气工程由原来的单一的“能量传输和控制”扩展成现在的“信息感知、智能决策、精确执行”的闭环系统。电力电子技术被广泛地应用到能源的传输、变换以及控制中,电驱动系统就是工业自动化、智能制造以及电动交通的动力源。采用人工智能、大数据、物联网技术之后,电力自动化系统可以实现对电力设备进行实时的采集、分析、处理,从而达到对电力设备的智能监控、故障诊断、预测性维修的目的。从技术发展的逻辑来讲,电气工程的智能化发展大体上就是感知、通信、决策、执行四个环节的推进过程。智能感知技术解决的是数据的获取问题,数字通信技术解决的是数据的传输和融合问题,人工智能技术解决的是数据的分析和决策问题,智

能执行设备则是最后的控制和操作。该技术链条完整、协同，就决定了智能化效果的好坏。目前电气、能源、自动化领域正处在智能化、数字化的深刻变革期，未来发展主要趋势就是智能化、绿色化和深度融合这三大方向。经过研究得知，人工智能将会成为电力电子以及电驱动系统智能化、数字化、高效化发展的主要技术支撑。

2 智能化背景下电气工程技术的发展基础

2.1 智能感知与信息采集技术

智能感知属于电气工程智能化的开端。在电力设备上布设电流、电压、温度、湿度、振动等各类传感器，从而可以对设备运行参数和状态进行实时的采集。伴随着微电子技术和 MEMS 传感器技术的发展，传感设备越来越趋向于小型化、低功耗、高精度，给大规模部署创造了技术条件。智能监测技术体系可以对电力设备运行状态实施实时感知，对数据开展高效处理，还能正确地判定故障。电网电气自动化中智能感知技术的重要作用就是对电网运行状况实施准确的监测。感知数据质量好坏直接决定后面分析和决策是否有效，所以传感器精度提高、抗干扰能力强、数据校验完善的智能感知技术发展问题就成为主要课题。除此之外，多源异构数据的统一采集和标准化，也成了系统级智能感知所要面对的基础性问题。

2.2 数字通信与数据融合技术

感知层得到的数据要依靠可靠的通信网络才能被传输并汇集起来。利用物联网、神经网络算法和闭环控制模型的融合，创建起一个感知、决策、执行三者相互配合的技术体系，可以很好地解决传统系统反应迟缓、运维费用昂贵以及能耗过大等状况。PLC 和智能传感器一起工作可以使得设备的反应时间达到毫秒级别。数据融合技术就是针对多源异构数据进行整合，并从中获得价值的一种技术^[1]。电力设备数据具有海量性、多源性、噪声和缺失值并存等特点，不同来源的数据在格式、精度、采集频率等各方面存在差异，需要采用数据清洗、标准化、归一化等预处理方法得到统一的数据视图。采用大数据以及通信技术开展电气系统智能监控，已经成了目前技术发展的主要趋向。BIM（建筑信息模型）技术同多传感器数据融合算法联合起来，可以改善建筑电气工程的监测精确度以及多专业协同设计水平。

3 智能化背景下电气工程关键技术的发展与应用

3.1 智能电气设备集成技术

智能电气设备的集成化属于电气工程智能化的主要载体。利用深度学习进行负载预测、故障诊断，用强化学

习等方法对电气设备进行智能化提升和系统集成。使用智能控制技术的电气成套开关柜可以对电流、电压、负载等重要参数进行实时的监测与控制，从而改善系统可靠性和提高系统的效率，智能化监控水平也得到进一步的提升。表 1 给出了不同的电气设备智能化集成的侧重点。

表 1 不同类别电气设备智能化集成重点与关键技术支撑

设备类别	智能化集成重点	关键技术支撑
智能成套开关柜	实时监测、智能保护	PLC、SCADA 系统（响应时间≤50ms）
电力电子变换器	拓扑优化、参数自整定	遗传算法、强化学习
智能传感终端	状态感知、边缘计算	MEMS 传感器、嵌入式 AI

就设备而言，智能电气设备由原来的单个功能向“感知、计算、通信、执行”一体化发展。电力电子器件智能化集成之后，就具有能量变换的基本功能，还能对自身状态实施感知、工况自动调节，并且可以同上层系统达成信息交换。智能断路器、智能变压器等设备的广泛使用，使得电气系统自动化水平和可靠性有了很大的提高^[2]。设备集成度提高以后，对电磁兼容性、散热管理、可靠性设计的要求就更高了，必须在硬件架构和软件算法两方面一起考虑来加以改善。

3.2 电气系统自动控制技术

自动控制是电气工程的主要功能领域，智能化技术的加入使得控制策略由原来的依靠规则转变为依靠数据和模型来驱动。在电力电子和电驱动方面，用深度学习和强化学习技术可以使得系统在复杂的工况下保持稳定的运行状态并达到高效的运行效果。利用人工智能技术，系统可自动生成，能提前预知可能发生故障，并进行提前维护。配电网中利用智能技术建立的自动化控制系统可以对电网运行情况进行实时监测，并且可以动态地改变控制参数，从而提高系统响应速度和调节精度。经过研究得知，采用智能控制和自愈保护技术之后，系统的故障响应时间可以缩短到 1.2s。

虚拟电厂运行管控系统开发应用，体现的是控制技术由单体设备向系统级协同的发展方向——依靠对风光出力预测、市场价格推演以及多市场联合优化，对分布式资源进行聚合管理并达成协同调控。配电网自愈控制采取集中控制、分布控制和协调控制三者相融合的方式，达成故障隔离和供电恢复的目的，集中式控制模式下故障诊断和隔离的时间可以达到秒级，分布式智能终端协同控制方式下故障处理的时间可以缩短到毫秒到秒级，基于分布式智能终端和主站协调配合的综合控制方式，可以在 1~2s

内完成故障后的网络重构。另外,智能无功补偿技术依靠改进的控制算法,很好地解决了由于非线性因素所引起的电气自动化系统复杂的问题,提高了电力设备的运行效率,也大大降低了线路电能损耗。

3.3 人工智能与大数据分析技术应用

人工智能和大数据分析属于电气工程智能化的核心能力层。机器学习、深度学习算法被用来建立设备健康状态评估模型,利用绝缘电阻、温度、振动等多维指标综合分析来实现对设备健康状态的实时评价。人工智能算法可以对电网的运行状态实施实时的监测以及预警,从而及时发现存在的潜在故障。卷积神经网络可以从传感器数据中提取出特征来发现潜在的故障,循环神经网络可以按照设备运行状态变化规律预测将来会发生的故障。对基于人工智能的供电系统故障诊断中应用到的机器学习、深度学习、强化学习等技术进行研究^[3]。研究表明,采用人工智能的故障预估可以使得设备非计划停机时间减少大约60%,综合运维成本下降25%~30%。

在电力系统规划设计上,用遗传算法、粒子群优化等智能算法对电路拓扑进行优化、对器件进行选择、对参数进行配置。元启发式方法(遗传算法等)本质上属于一种静态优化,常被用于拓扑布局、布线等;基于机器学习的优化(强化学习等)更多地关注与决策有关的动态优化,在拓扑自动生成方面更加常见。大语言模型同知识图谱结合之后,给电气工程领域智能问答以及辅助决策赋予了新的技术手段。图1表示人工智能已经融入电力电子、电驱动系统设计、控制、运维这三个方面,形成了一个由参数设定到智能运维的闭环。

除此之外,联邦学习、迁移学习等新的AI技术在电气工程方面也存在着应用前景,在保证数据隐私的基础上可以实现各个设备、各个站点之间协同建模和知识共享。

多模态大模型技术发展之后,未来电气工程领域的智能分析和决策支持将会更加综合,会把文本、时序数据、图像这些多源信息融合起来。

3.4 电气工程智能运维与故障诊断技术

智能运维属于智能化技术在电气工程领域应用最广的场景之一。传统的电力设备运行状况监测大多采用人工巡视的方式,费时费力,成本高。基于人工智能的运维模式依靠对设备运行状态的实时监测和评价,对大量的监测数据进行深入挖掘,建立预测模型,实现了从“定期维护”到“状态检修”的转变。二次设备远程运维管控系统利用主子站协同、设备属性语义分析等技术,使运维工作高效化、自主可控。从可视化上看,三维建模及仿真,虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术的加入使得运维人员可以对设备的运行情况有直观的感受,从而作出科学的判断。一键顺控技术依靠机器视觉算法达成双重确认,从而达成远程自动化操作,极大地改善了运维的安全性以及效率。数字孪生技术的应用又使物理设备和数字模型之间形成了实时的映射关系,给精准评价、诊断提供了一条新的技术途径。

4 智能化背景下电气工程技术发展策略

4.1 完善智能化电气系统架构设计

智能化电气系统架构设计要从传统的分层分布式架构向感知、网络、平台、应用的四层架构发展。感知层要形成全面、准确的多维感知体系,网络层要创建起高带宽、低时延、高可靠性的通信基础设施,平台层要创建起统一的数据中台和AI能力平台,冲破数据孤岛,达成资源的集约化调配,应用层要围绕具体的业务场景研发专业化的、可配置的智能应用。以物联网感知、BIM协同设计、AI控制优化三者组合起来的方法,可以满足数字化转型的需求。

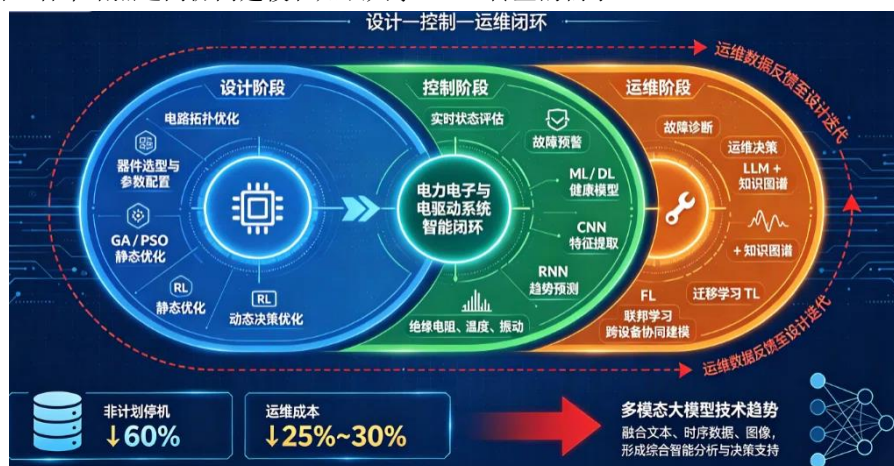


图1 人工智能在电力电子与电驱动系统中的应用全景

4.2 提升电气工程数字化管理水平

数字化为智能化打下了基础。未来电气工程自动化技术会向着人工智能、物联网等方向不断融合,促使电力电子器件更加高效,控制算法也变得越来越智能。提高数字化管理水平首先要创建起包含设备整个生命周期的数据管理体系,即设备台账、运维记录、监测数据等信息的规范化采集和集中管理。其次就是业务流程的数字化再造,把智能监测、预测预警、辅助决策等要素嵌入到日常运维管理流程当中。大语言模型和多模态学习的发展促使人工智能从原来的“行为驱动智能”转变为现在的“意图驱动智能”,即系统可以理解、创建并达成多层次的目标。

4.3 加强智能化关键技术协同创新

电气工程的智能化就是指人工智能、通信技术、微电子技术和控制理论等各学科领域相互渗透、相互结合的综合研究。加强协同创新,要在技术研发上推进跨领域合作,构建起“产学研用”协同创新体系。电气工程自动化技术存在着自主研发的短板、不适应性等问题,需要加强自主研发、人才培养、产学研合作来促进技术的发展。目前的AI技术在电力电子和电力传动方面存在着数据依赖性大、可解释性差、计算量大等问题。从产业层面来说,要促使电气设备制造企业同AI技术企业展开深度合作,加快技术成果的工程化转化。

4.4 健全电气工程安全保障与人才培养体系

智能化电气系统安全运行包含设备安全、数据安全和网络安全这三个方面。需要创建起覆盖感知层、网络层、平台层、应用层的纵深安全防护体系,并且要健全安全监测、应急响应以及灾备恢复机制。就人才培养而言,电气工程学科的教育体系要主动迎合智能化转型的需求,加大

人工智能、数据科学等交叉学科知识的融入力度。积极响应国家战略和能源战略,积极推进产学研用协同育人机制,提高创新人才的培养质量。分析认为,未来技术会向人工智能、物联网等方向融合,加强自主研发、人才培养和产学研合作。

5 结语

智能化技术不断深入,使得电气工程由以前的经验型发展为现在的数据化、智能化。本文从技术基础、关键应用、发展策略三个方面对智能化背景下的电气工程技术发展进行系统的分析。经过研究发现,智能感知、数字通信、人工智能等技术的协同演进正在改变电气工程的设计、控制、运维全过程的技术体系,设备集成化、控制智能化、运维数字化是电气工程发展的主要方向。面向未来要完善智能电气系统架构设计、提高数字化管理水平、加强关键技术协同创新、建立安全防护体系和人才培养体系,不断推进人工智能同电气工程的深度融合,促进电气工程向智能化、数字化方向高质量发展。

[参考文献]

- [1]刘自程,樊隆源,蒋栋,等.人工智能在电力电子与电力传动领域应用的综述[J].电气工程学报,2025,20(5):11-23.
 - [2]牟付海.试论电力系统电气工程智能化技术的运用[J].中国设备工程,2024(18):26-28.
 - [3]袁晨.电力系统电气工程自动化智能监测技术的应用[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(4):69-71.
- 作者简介:卢金龙(1990—),男,汉族,河北邢台人,2011年06月毕业于河北工程大学大学,2026年7月毕业于国家开放大学机械制造与自动化专业,本科,现主要从事的工作或研究方向为电气设计及调试。