

# 人工智能在电气工程及其自动化专业中的创新应用

周忠玉 王海洋 袁 迎 张乃水

山东国华时代投资发展有限公司 山东 济南 250000

**摘 要:** 传统电气工程自动化存在数据处理能力有限、控制自适应差、故障预判滞后等缺陷,难以适配新型电力系统智能化发展需求。本文结合机器学习、深度学习与智能优化算法,阐述人工智能与电气工程自动化的数据、控制、运维三层融合逻辑,梳理其在智能设计、故障诊断、电网调度、系统升级中的创新应用。同时分析技术适配不足、数据体系杂乱、落地成本高、行业标准缺失等问题,提出优化方案并研判行业未来智能化、一体化的发展趋势。

**关键词:** 人工智能; 电气工程及其自动化专业; 创新应用

**引言:** 电力产业转型升级与新型电力系统建设,对电气工程自动化的运行精度、安全水平和能效管控提出更高要求。传统电气自动化技术依赖预设程序与人工运维,存在明显技术瓶颈,无法应对复杂工况与海量数据处理需求。人工智能具备强大的特征挖掘、动态优化和态势预测能力,可有效赋能电气领域。本文围绕二者融合应用展开研究,剖析现存问题并优化应用路径,为电气自动化智能化升级提供参考。

## 1 电气工程自动化与人工智能核心技术概述

### 1.1 电气工程自动化技术核心体系

(1) 电气自动控制技术,以可编程逻辑控制器(PLC)为核心枢纽,结合变频调速与闭环反馈控制,构成经典控制闭环。该技术根据预设逻辑与参数对电气设备进行通断、调速及稳态调节,具备响应直接、可靠性高的应用特点,在电机驱动、生产线控制等领域仍占据基础地位<sup>[1]</sup>。(2) 电气运维与检测技术,主要依赖人工经验与常规仪表,对变压器、开关柜等关键设备实施周期性巡检与预防性试验。通过红外测温、局部放电检测等手段获取设备状态,结合电网调度监控系统实现运行监视,其故障处理往往在异常发生或报警后方能启动,呈现“事后响应”的典型特征。(3) 传统电气自动化技术的固有局限性,集中体现为数据处理维度单一且容量受限,难以从海量运行数据中提炼有效信息;控制策略高度依赖预设模型,面对工况突变时自适应调节能力不足;缺乏对潜在故障的早期预判机制,致使运维活动长期处于被动抢修状态,整体运行效率与智能化水平存在明显瓶颈。

### 1.2 适配电气工程的人工智能核心技术

(1) 机器学习技术,通过监督学习(如支持向量

机、随机森林)对电气设备历史故障数据进行分类训练,实现状态识别;借助无监督学习(如聚类算法)挖掘异常运行模式,从而完成设备退化趋势预判与关键参数预测。(2) 神经网络与深度学习技术,利用卷积神经网络(CNN)自动提取局部放电、电流谐波等故障图像或信号特征,采用循环神经网络(RNN)及其变体对长时间序列的电网负荷、电压波动数据进行建模,以获取高精度的拟合分析与态势推演。(3) 智能优化算法,包括遗传算法(GA)的全局搜索能力与粒子群算法(PSO)的快速收敛特性,可对电气系统的多目标能耗模型进行优化求解,动态调节设备运行参数,并实现分布式电源接入下的负荷均衡调控。

### 1.3 人工智能与电气工程自动化的融合逻辑

(1) 数据层融合,依赖于广泛部署的电压、电流、温度及振动传感器,实时采集电气系统全息运行数据,进而通过AI驱动的数据清洗、异常检测与特征工程,将原始信号转化为具有决策价值的高维信息资产。(2) 控制层融合,其核心在于利用深度强化学习等智能算法,替代传统PID等固定参数控制逻辑,使控制器能够根据实时工况变化自主调整策略,实现对电气系统动态过程的精准跟踪与自适应优化。(3) 运维层融合,旨在构建以AI预测性维护为核心的新型运维体系,通过故障提前预判、健康状态自主诊断及维修策略主动推送,将传统“故障-响应”的被动模式升级为“预知-干预”的主动闭环,显著提升电气系统的运行安全性与维护经济性。

## 2 人工智能在电气工程及其自动化专业中的创新应用

### 2.1 电气系统智能设计与优化

(1) 电气图纸智能设计与审查,借助深度学习模型对海量标准图纸进行训练,AI能够根据设计需求自动生

成 PLC 梯形图与电气原理图框架。同时,通过嵌入电气设计规范与安全约束规则,智能审查系统可自动完成元器件选型校验、电气间隙与爬电距离合规性筛查以及多页面逻辑冲突检测,有效将人为设计误差降至最低,缩短设计迭代周期<sup>[2]</sup>。(2)电气设备结构优化设计,基于 AI 驱动的多物理场代理模型,可在不进行大量有限元仿真的前提下,快速预测电机、变压器等设备在不同结构参数下的电磁场分布与热效应。通过遗传算法等智能搜索策略,对铁心形状、绕组匝数及槽型尺寸进行全局寻优,从而在材料成本与性能损耗之间取得最佳平衡,显著降低设备铁损与铜损。(3)电力电子系统参数优化,利用神经网络拟合开关器件损耗、温升与开关频率之间的复杂非线性关系,结合在线自适应寻优算法,动态调整逆变器脉宽调制的开关频率与死区时间。该策略能够在不同负载条件下维持较高的功率转换效率,同时降低电压尖峰对功率器件的电应力冲击,有效延长绝缘栅双极型晶体管等核心电气器件的服役寿命。

## 2.2 电气设备智能故障诊断与预测性维护

(1)设备运行状态智能监测,构建基于边缘计算与云平台协同的智能监测架构, AI 模型对电机振动频谱、变压器油中溶解气体含量、开关柜局部放电脉冲等异构数据进行实时流式处理。通过孤立森林等无监督算法捕捉微弱异常偏离信号,实现对设备早期亚健康状态的敏锐感知。(2)故障智能诊断与溯源,采用深度残差网络与注意力机制相结合的特征提取方法,从原始采样信号中自动剥离噪声并强化故障敏感特征。该模型不仅能精准识别匝间短路、过载、绝缘老化及轴承磨损等典型故障模式,还通过梯度反向传播算法定位故障发生的源头环节,为现场快速处置提供明确指向。(3)预测性维护体系构建,基于门控循环单元对设备全生命周期退化时序数据进行建模,预测剩余使用寿命及潜在故障概率分布。系统据此动态生成差异化维护策略及备件储备计划,将传统的定期检修转变为基于健康状态的精准维护,从根本上规避非计划停机带来的生产中断风险,显著降低全生命周期运维总成本<sup>[3]</sup>。

## 2.3 电力系统智能调度与节能控制

(1)智能电网负荷智能调控,利用多智能体深度强化学习框架构建源网荷储协同调度模型,智能体实时感知区域用电负荷时空演变规律,在满足电压稳定与频率安全约束下,动态调整发电机出力与柔性负荷响应,实现电力资源的全局优化配置与负荷均衡。(2)新能源电力并网优化,通过融合数值气象预报与历史出力数据的混合 AI 预测模型,对风电、光伏电站的超短期功

率波动进行概率性区间预测。基于预测结果,协同优化储能充放电计划与火电机组深度调峰策略,有效平抑并网功率波动,显著提升新能源消纳率并缓解弃风弃光现象。(3)工业电气节能智能控制,针对工业电机、电炉及空压机等主要耗电设备, AI 控制器根据实时负载率、电网质量及工艺进度,自适应调节电压频率匹配方案与启停策略。通过在线寻优实现全工况最低能耗运行,显著降低吨产品电耗指标。

## 2.4 工业电气自动化智能控制系统升级

(1) PLC 智能编程与调试,基于大语言模型的代码生成能力, AI 能够根据工艺描述自动生成结构化梯形图或结构化文本程序,并通过静态分析技术自动定位变量冲突、死循环及时序逻辑漏洞,辅助工程师快速完成程序调试与优化,极大缩短自动化项目开发交付周期。(2)电气自动化系统自适应控制,引入模型预测控制与神经网络辨识相结合的复合策略, AI 模型在线跟踪生产工况波动、环境温湿度变化及设备磨损退化等动态因素,自动整定控制器增益与前馈补偿系数,确保控制系统在非线性和多干扰的复杂工业场景下始终保持高精度与强鲁棒性<sup>[4]</sup>。(3)多设备协同智能管控,依托工业物联网与数字孪生融合平台,实现车间内机器人、伺服驱动器、变频器及智能仪表等多源设备的统一数据接入与实时状态同步。通过 AI 协同调度算法,对多设备动作时序进行冲突消解与路径优化,消除等待冗余与能耗尖峰,整体提升产线运行效率和柔性响应能力。

## 3 应用现存问题、优化策略与未来发展趋势

### 3.1 人工智能在电气工程应用中的现存问题

(1)技术适配性不足,通用 AI 算法架构与电气现场低功耗、低时延的硬件环境存在固有冲突,模型压缩与轻量化部署过程伴随显著的精度衰减,工控级推理引擎的稳定运行尚缺乏成熟的工程化解决方案。(2)数据体系不完善,电气数据源分散于 SCADA、保护装置、智能电表等异构系统中,数据格式、采样频率与通信协议互不统一,且大量老旧设备缺失数字化采集通道,导致 AI 训练样本的完整性与代表性严重不足。(3)行业落地成本偏高,从传感器加装、网络改造到算法定制开发的全链条投入较大,技术效益难以在短期内量化体现,加之既懂电气机理又精于 AI 算法的复合型人才极度短缺,制约了技术的规模化推广。(4)安全与标准化体系缺失, AI 决策的逻辑可解释性薄弱,对抗样本干扰或模型漂移可能引发电气保护误动等安全隐患,而行业层面尚未形成覆盖设计、测试、运维全流程的统一技术标准与安全准入规范。

### 3.2 人工智能赋能电气工程自动化的优化策略

(1) 研发场景化智能算法。面向继电保护、负荷预测、能效优化等典型电气场景设计专用网络结构,摒弃大模型直接下放的粗放模式。引入模型剪枝、量化感知训练与知识蒸馏技术,在保证精度前提下将模型压缩至兆级以内,满足工控设备实时推理需求。同时嵌入电气机理先验知识作为物理约束,降低纯数据驱动过拟合风险,提升工况突变时的鲁棒性。(2) 搭建标准化电气数据平台。制定涵盖采集规范、时序对齐、故障标注在内的全链路数据标准,打通 DCS、SCADA、智能传感器等多源系统数据壁垒。针对故障样本稀缺,采用生成对抗网络与变分自编码器扩充典型故障波形,构建覆盖全生命周期、多工况的高质量基准数据集。同步建设数据治理与版本管理机制,为 AI 模型持续迭代提供稳定可信的数据底座。(3) 降低技术落地成本。针对存量老旧设备推广“边缘计算盒子+无线智能传感器”外挂改造,免去线缆敷设与设备更换投入。推动 AI 功能模块化、可配置化开发,支持按需选装故障预警、能效优化等模块。探索云-边-端协同架构,重算力训练置于云端、轻量化推理部署于现场,平衡算力成本与响应速度,使中小型企业以合理投入获得可用智能化能力<sup>[5]</sup>。(4) 完善行业规范与安全体系。联合电力标委会,加快编制电气 AI 应用的开发规范、测评标准与验收规程,明确泛化能力、抗干扰性能及故障容错等关键指标。安全管控上,建立模型输入对抗检测机制与双通道冗余表决架构,防范 AI 误判导致控制风险。同时完善数据分级分类管理与传输加密,确保电网运行数据在采集、存储、调用全链条安全可控,为 AI 规模化应用提供合规保障。

### 3.3 人工智能在电气工程领域的未来发展趋势

(1) AI 与电气系统深度一体化,人工智能将从现阶段面向特定环节的“单点赋能”转向贯穿规划设计、运行调度、状态检修全过程的“系统内生”。未来的智能电气系统将以 AI 为核心控制引擎,实现从数据感知、策略生成到执行验证的全闭环自主运行,构建高度自治的

智慧电气新形态。(2) 多技术融合发展,人工智能将与工业物联网实现海量终端的泛在感知,与大数据技术融合实现跨时空维度的挖掘分析,与数字孪生技术结合构建物理电网的实时映射与仿真推演平台。多技术协同将催生“状态全感知-态势准预测-策略自优化”的智慧电网一体化生态体系,支撑新型电力系统对高可靠性与高灵活性的双重需求。(3) 无人化、自主化运维成为主流,基于多智能体强化学习与自监督学习框架,电气设备将具备环境自适应感知、健康状态自评估、故障自隔离与自恢复的全链条自主能力。运维模式将从“人为巡检+系统辅助”全面跃升为“系统主导+人工监督”,大幅降低高危场景下的人工干预需求,推动电气行业运行管理模式实现根本性变革。

### 结束语

本文系统探究了人工智能在电气工程自动化领域的创新应用价值与实践痛点,证实人工智能可有效突破传统电气技术短板,提升电力系统设计、运维、调度的综合效能。针对技术适配、数据建设、落地成本及安全规范等发展难题,本文提出了针对性优化策略。未来多技术深度融合、自主化无人运维将成为主流,持续推动电气工程自动化向高效、智能、安全的方向深度革新。

### 参考文献

- [1] 何学圣. 人工智能技术在电气工程自动化中的应用[J]. 造纸装备及材料,2025,54(04):59-61.
- [2] 李宏健, 王安国, 刘馨鑫. 人工智能技术在电气工程自动化控制中的应用研究[J]. 电子元器件与信息技术,2022,6(12):129-132.
- [3] 童画. 基于智能技术的电气工程自动化控制系统[J]. 电气技术与经济,2025,37(02):231-234.
- [4] 沈豫扬. 人工智能技术在电气工程自动化中的应用[J]. 信息记录材料,2025,26(02):138-140.
- [5] 刘婉旭. 人工智能在电气工程自动化中的应用[J]. 现代工业经济和信息化,2022,12(04):155-158.