

电气工程自动化中智能化技术研究

白茂林

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司煤矸石热电厂 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 电气工程自动化中,智能化技术通过融合人工智能、机器学习、神经网络控制、遗传算法优化及多智能体协同等核心理论,实现对电气系统的自主感知、决策与优化。其技术优势体现在提升系统自适应性与容错能力、降低能耗与运维成本、优化调度效率及故障自愈能力等方面,推动电气工程向集成化、网络化、柔性化方向发展,为智能电网、工业自动化及新能源领域提供关键技术支撑。

关键词: 电气工程自动化;智能化技术;应用

引言:在能源革命与数字技术深度融合的背景下,电气工程自动化正经历从机械化向智能化的关键转型。传统控制模式受限于固定逻辑与人工干预,难以应对复杂多变的运行场景。智能化技术通过引入数据驱动决策、自主感知与自适应优化机制,不仅提升了系统运行效率与可靠性,更在故障预测、能源调度、柔性生产等领域展现出变革性潜力。研究其技术体系与应用路径,对推动电气工程高质量发展具有重要战略意义。

1 电气工程自动化中的智能化技术基础

1.1 智能化技术核心理论

(1) 人工智能与机器学习基础:在电气工程自动化中,人工智能技术通过模拟人类智能,实现设备自主决策与操作。机器学习作为核心分支,依托数据驱动构建模型,如监督学习可用于电机故障预测,通过历史故障数据训练模型,精准识别异常工况;无监督学习能对电力负荷数据聚类分析,为电网调度提供依据,是实现自动化系统“自主学习”的关键支撑。(2) 专家系统与模糊控制原理:专家系统整合电气领域专家经验,形成知识库与推理机制,可快速诊断电力系统故障,如在变电站设备检修中,依据规则库定位故障部件;模糊控制突破传统精确控制局限,针对电气设备参数波动的不确定性,通过模糊规则表实现柔性控制,例如在电机转速调节中,有效应对负载变化带来的扰动。

1.2 关键技术分类

(1) 神经网络控制技术:模仿生物神经网络结构,具备非线性映射能力,适用于复杂电气系统控制,如在电力电子变换器控制中,通过多层神经网络逼近被控对象特性,提升控制精度与动态响应速度。(2) 遗传算法优化技术:基于生物进化原理,通过选择、交叉、变异操作寻找最优解,可用于电气系统参数优化,如配电网重构中,优化网络拓扑结构,降低网损,提升供电

效率。(3) 多智能体协同控制技术:将系统划分为多个自主智能体,通过通信与协作完成复杂任务,在微电网运行中,各智能体分别管控分布式电源、负荷与储能设备,实现能量协同调度,保障电网稳定^[1]。

1.3 技术优势分析

(1) 自适应性与容错能力:能实时感知电气系统运行状态变化,自动调整控制策略,如电网电压波动时,快速补偿恢复;当局部设备故障,可通过冗余设计与故障隔离,保障系统整体稳定运行,减少停机损失。(2) 效率提升与成本优化:通过精准控制与智能调度,降低电气设备能耗,如工业电机节能控制可提升效率10%-20%;同时减少人工运维需求,通过远程监控与智能诊断,降低检修成本,延长设备使用寿命,实现全生命周期成本优化。

2 电气工程自动化中智能化技术的典型应用

2.1 智能电网领域

(1) 分布式发电与微电网控制:随着风电、光伏等分布式电源大规模接入,智能化技术成为微电网稳定运行的核心。通过多智能体协同控制技术,可实现分布式电源、储能设备与负荷的动态匹配—例如在某工业园区微电网中,智能体实时采集光伏出力、用电负荷数据,自动调节储能充放电状态,避免电压波动;同时结合遗传算法优化分布式电源出力分配,降低弃风弃光率,提升能源利用效率。(2) 电网故障自愈与优化调度:依托人工智能与机器学习技术,电网具备故障自主诊断与恢复能力。当配电网发生线路故障时,专家系统通过对比故障电流、电压数据与知识库规则,10秒内定位故障点并隔离故障区域;同时,机器学习模型基于历史负荷数据预测未来用电需求,结合电网拓扑结构生成最优调度方案—如在夏季用电高峰前,自动调整区域内火电机组出力,优先调用新能源发电,既保障供电可靠性,又减

少碳排放。

2.2 工业自动化领域

(1) 智能制造中的柔性生产控制：神经网络控制技术为柔性生产线提供精准调控支持。在汽车零部件生产车间，通过多层神经网络模型实时采集机床加工参数（如转速、进给量）与产品精度数据，动态优化加工参数，使产品合格率从95%提升至99.2%；同时，多智能体协同控制生产线各设备，当某台机床故障时，智能体自动调度备用设备接替工作，避免生产线停工，将生产效率损失控制在5%以内^[2]。(2) 机器人路径规划与协作控制：在工业机器人作业场景中，智能化技术实现路径动态优化与多机器人协同。基于遗传算法的路径规划系统，可在复杂车间环境（如存在障碍物、人员走动）中，为机器人规划最短且安全的运动路径，将作业时间缩短15%；同时，多智能体技术使多台机器人协同完成装配任务——如在电子设备组装线，智能体分配各机器人负责的部件装配工序，实时同步作业进度，避免工序冲突，提升装配效率30%。

2.3 新能源与节能领域

(1) 风电/光伏发电预测与优化：机器学习技术大幅提升新能源发电预测精度。在大型风电场，通过LSTM（长短期记忆网络）模型整合历史风速、风向数据与气象预报信息，实现未来24小时风电出力预测，误差率控制在8%以内；同时，结合模糊控制技术优化风机运行状态——当风速过高时，自动调整风机桨距角，避免设备过载；风速过低时，减少风机启停次数，降低能耗，延长设备使用寿命。(2) 智能建筑能源管理系统：智能化技术实现建筑能源高效管控。在商业综合体中，系统通过传感器实时采集室内温度、光照强度、人员密度数据，结合机器学习模型预测能源需求，自动调节中央空调、照明系统运行状态——如在人员稀疏区域，关闭部分照明灯具，将空调温度调高2℃；同时，对建筑能耗数据进行聚类分析，识别高能耗设备（如老旧水泵），为节能改造提供依据，使建筑整体能耗降低22%。

2.4 故障诊断与预测维护

(1) 基于大数据的设备健康管理：依托大数据与人工智能技术，实现电气设备全生命周期健康监测。在变电站变压器管理中，系统实时采集变压器油中溶解气体、绕组温度、振动数据，通过机器学习模型分析数据特征，建立设备健康状态评估体系——当检测到油中乙炔含量异常时，自动判定变压器存在局部放电故障风险，并生成维护建议；同时，结合设备运行年限、维护记录，预测设备剩余使用寿命，避免突发故障。(2) 实时

状态监测与预警系统：在高压电机运行场景中，智能化监测系统实现故障提前预警。通过安装振动、温度、电流传感器，实时传输电机运行数据至云端平台，专家系统对比数据与故障特征库，当电机轴承温度超过阈值、振动频率异常时，立即向运维人员发送预警信息；同时，系统自动生成维护方案，如更换轴承的具体步骤、所需备件，使运维响应时间从24小时缩短至2小时，减少设备停机损失^[3]。

3 电气工程自动化中智能化技术实施中的挑战与对策

3.1 技术层面挑战

(1) 数据安全与隐私保护：智能化技术依赖电网运行数据、设备参数等海量敏感信息采集与传输，易面临数据泄露、篡改风险。例如智能电网中，用户用电数据若被非法获取，可能侵犯隐私；电网调度数据遭攻击，甚至引发供电中断。同时，多系统数据共享过程中，隐私边界模糊，传统加密技术难以兼顾安全性与数据可用性。(2) 算法复杂度与实时性矛盾：深度学习等智能算法需大量算力支撑，而电气工程自动化对控制响应速度要求极高。电网故障诊断中，复杂算法虽能提升准确率，但运算耗时可能超过故障处理临界时间，导致错过最佳抢修时机；工业电机实时控制场景中，算法延迟会引发设备运行波动，影响生产精度。

3.2 工程应用难点

(1) 系统集成与兼容性问题：现有电气自动化系统多为不同厂商、不同时期建设，硬件接口、软件协议差异大。智能化升级时，新系统与传统PLC（可编程逻辑控制器）、SCADA（监控与数据采集系统）难以无缝对接，例如某工厂引入智能机器人控制系统后，因与原有生产线数据协议不兼容，需额外开发转接模块，增加成本与故障隐患。(2) 标准化与规范化缺失：智能化技术在电气工程领域应用缺乏统一标准，如设备健康评估指标、数据采集格式、AI算法验证流程等无明确规范。不同企业采用各自技术体系，导致数据无法互通、成果难以复用，例如风电预测模型因行业无统一误差评估标准，不同厂商模型性能无法客观对比，阻碍技术推广。

3.3 解决策略与建议

(1) 边缘计算与5G通信融合：将部分数据处理任务下沉至边缘节点，如变电站本地服务器、工业网关，减少云端传输压力，提升实时性；5G的低时延、高带宽特性保障边缘节点与中心系统数据交互效率。例如在电网控制中，边缘设备实时处理电压、电流数据，快速执行调压操作，5G则同步将关键数据上传云端用于全局优化，兼顾响应速度与数据价值。(2) 数字孪生技术辅助

设计：构建电气系统数字孪生模型，在虚拟环境中模拟智能化系统集成过程，提前排查兼容性问题；通过数字孪生验证算法性能、制定标准化流程。如某电网企业在升级调度系统前，利用数字孪生模拟新算法与传统设备的协同效果，优化接口协议，降低现场调试成本；同时基于孪生模型输出的数据格式与评估标准，推动行业规范化建设^[4]。

4 电气工程自动化中智能化技术的未来发展趋势与展望

4.1 技术融合方向

(1) 人工智能与物联网 (AIoT) 深度融合：AIoT 将实现电气设备全域互联与智能分析的无缝衔接。通过物联网传感器实时采集电网、工业设备等全场景数据，依托人工智能算法进行实时分析与决策，例如在智能电网中，AIoT 可动态监测全网用电负荷、设备状态，自动优化电力分配，同时预判设备故障，实现“感知-分析-决策-执行”闭环，大幅提升系统智能化水平。(2) 区块链在能源交易中的应用：区块链的去中心化、不可篡改特性，将重构能源交易模式。在分布式能源场景中，用户可通过区块链平台直接进行风电、光伏等新能源点对点交易，交易记录实时上链存证，保障交易透明可信，同时实现能源交易数据追溯，解决传统集中式交易效率低、信任成本高的问题，推动能源市场化高效运行。

4.2 应用场景拓展

(1) 智慧城市中的电气系统协同：未来智慧城市将实现电力、交通、建筑等电气系统跨领域协同。通过统一的智能管控平台，协调电网供电、电动汽车充电、建筑能耗之间的关系，例如在用电高峰时，自动调度充电桩错峰充电，同时调节建筑内空调、照明功率，实现城市能源整体优化，降低碳排放。(2) 太空电气设备的自主运维：随着太空探索深入，太空电站、卫星等电气设备需具备自主运维能力。依托智能化技术，设备可实时

监测自身电路、能源系统状态，自主诊断故障并启动修复程序，如卫星太阳能电池板出现故障时，自动调整供电路径，避免设备停运，减少对地面运维的依赖。

4.3 研究热点预测

(1) 强化学习在动态控制中的应用：强化学习通过“试错”不断优化策略，适用于电气系统动态复杂场景。例如在电网频率调节中，强化学习算法可根据负荷波动实时调整发电机出力，快速稳定电网频率，相比传统控制方法，能更好应对不确定性干扰。(2) 可解释性 AI (XAI) 的工程化：XAI 将解决 AI 决策“黑箱”问题，在电气工程中，可解释性 AI 能清晰呈现故障诊断、参数优化的逻辑的，例如在变压器故障诊断中，不仅给出故障结果，还能说明判断依据，提升工程师对 AI 决策的信任度，推动 AI 在关键电气场景大规模应用。

结束语

电气工程自动化与智能化技术的深度融合，已成为推动能源转型与产业升级的核心动力。通过人工智能、机器学习等技术的突破性应用，系统实现了从被动响应到主动优化的跨越，显著提升了运行效率与可靠性。未来，随着 AIoT、区块链等新兴技术的进一步渗透，电气工程将迈向全域智能、自主协同的新阶段。持续深化技术创新与标准化建设，是释放智能化潜力、构建低碳高效电气体系的关键所在。

参考文献

- [1]张贵龙.智能化技术在电气工程及其自动化控制中的应用研究[J].自动化应用,2024,65(S2):10-11.
- [2]陈玉超.智能化技术在电气工程自动化系统中的应用研究[J].科技资讯,2024,22(21):70-72.
- [3]李思峰.电气工程及其自动化的智能化技术应用研究[J].仪器仪表用户,2024,31(10):56-58.
- [4]张泽继.电气工程及其自动化技术在电厂中的应用[J].通讯世界,2024,31(07):133-135.