

电气自动化工程中的智能技术应用

林永洪

许继电气股份有限公司 河南 许昌 461000

摘要: 智能技术在电气自动化工程中的应用,通过智能控制、检测、通信与运维技术的协同,实现了系统自主运行与资源优化配置。本文围绕智能技术类型、应用场景、现存问题及优化方向展开分析,指出智能控制技术通过动态自适应框架提升设备工况适应能力,智能检测技术构建多物理量融合感知网络,智能通信技术支撑高速可靠数据传输,智能运维技术推动预测性维护模式转型。同时,针对技术适配性不足、运行稳定性挑战及体系衔接障碍等问题,提出动态选型机制、冗余容错设计及标准化集成框架等优化策略。

关键词: 智能控制;多模态感知;数字孪生;预测性维护;体系协同

引言:电气自动化工程作为现代工业的核心支柱,其智能化转型正深刻改变传统生产模式。智能技术通过模拟人类决策、感知与学习能力,赋予系统自主适应复杂工况的能力,成为突破传统控制瓶颈的关键路径。从动态环境下的精准控制到多源异构数据的融合分析,从设备全生命周期管理到全局资源优化调度,智能技术的渗透不仅提升了系统运行效率,更推动了电气工程向柔性化、自愈化方向演进。然而,技术适配性不足、运行稳定性挑战及体系衔接障碍等问题,仍制约着智能技术的深度落地。

1 电气自动化工程中常用智能技术类型

1.1 智能控制技术

智能控制技术是电气自动化工程中实现复杂系统自主运行的核心支撑,其本质是通过模拟人类决策过程赋予设备环境适应能力^[1]。该技术体系包含多层次控制策略,其中模糊控制技术通过构建语言变量规则库,有效解决传统控制方法对非线性系统参数敏感的问题,在温度调节、电机转速控制等场景中展现出强鲁棒性。神经网络控制技术依托多层感知器的非线性映射能力,可对系统动态特性进行实时建模,尤其适用于具有时变特性的工业过程控制。预测控制技术则通过滚动优化机制,利用历史数据与未来预测信息生成最优控制序列,在电力电子变换器控制领域取得显著应用成效。这些控制策略通过分层递阶结构实现有机整合,形成从底层执行到高层决策的完整控制闭环。

1.2 智能检测技术

智能检测技术通过集成多模态传感器与信息融合算法,构建起对电气系统状态的全方位感知网络。激光干涉测量技术凭借纳米级分辨率,在精密机械位移检测中实现0.1 μm 的亚微米级精度。光纤光栅传感技术利用光

波波长变化特性,可同时监测温度、应变等多物理量参数,温度监测范围覆盖-50 $^{\circ}\text{C}$ 至150 $^{\circ}\text{C}$,应变测量精度达1 μe ,在高压设备绝缘状态评估中发挥关键作用。基于机器视觉的检测系统通过卷积神经网络提取图像特征,能够自动识别设备表面缺陷与装配异常,检测效率较传统人工目检提升数倍。多传感器信息融合技术采用卡尔曼滤波算法对异构数据进行时空校准,有效消除单一传感器测量误差,显著提高状态监测的置信度。

1.3 智能通信技术

智能通信技术构建起电气自动化系统各层级间的数据传输通道,其技术演进呈现高速化、可靠化、融合化特征。工业以太网技术通过时间敏感网络(TSN)协议实现确定性传输,满足运动控制等硬实时应用需求。无线传感器网络采用自适应跳频技术,在电磁干扰环境下仍能保持稳定通信,特别适用于移动设备监测场景。5G通信技术的大带宽、低时延特性,为远程设备操控与AR辅助维护提供可能。软件定义网络(SDN)技术通过控制与转发平面分离,实现网络资源的动态调配,有效提升通信系统的灵活性与可扩展性。

1.4 智能运维技术

智能运维技术通过数据驱动方式实现设备全生命周期管理,其技术架构包含数据采集、状态评估、决策支持三个维度。设备健康管理(PHM)系统集成振动分析、油液监测等多源数据,运用隐马尔可夫模型评估设备退化趋势。知识图谱技术构建故障现象与原因的关联网络,为运维人员提供智能诊断支持。数字孪生技术创建物理设备的虚拟映射,通过仿真推演优化维护策略。增强现实(AR)技术将设备结构信息与维护流程叠加显示,显著降低现场操作复杂度。这些技术共同构成预防性维护体系,使设备非计划停机时间减少。

2 智能技术在电气自动化工程中的应用场景

2.1 电气设备控制中的应用

智能控制技术通过构建动态自适应控制框架,显著提升电气设备对复杂工况的适应能力。在电机驱动领域,模糊PID控制算法根据负载变化自动调整控制参数,有效解决传统PID控制超调量大的问题,实现转速的平滑调节^[2]。针对电力电子变换器,神经网络预测控制技术通过离线训练建立输入输出映射关系,在线运行时根据实时工况快速生成最优开关序列,提升电能转换效率。在机器人运动控制场景,滑模控制与扰动观测器的复合控制策略,通过补偿摩擦力等非线性因素,实现末端执行器的高精度轨迹跟踪。这些控制方法通过数字信号处理器实时运算,形成从信号采集到执行机构驱动的完整控制闭环。

2.2 电气系统监测中的应用

智能检测技术通过多物理量融合感知,构建起电气系统状态的立体监测网络。在高压开关设备监测中,局部放电超声检测与特高频检测技术协同工作,利用不同频段信号的传播特性实现缺陷定位。变压器油中溶解气体分析采用气相色谱与光声光谱联合检测,通过特征气体浓度变化趋势预测绝缘老化程度。电缆线路监测系统集成分布式光纤测温与行波测距技术,既能实时获取线芯温度分布,又能在故障发生时快速定位故障点。这些监测数据经边缘计算节点预处理后,通过时间序列分析提取状态特征,为后续评估提供可靠依据。

2.3 电气系统运维中的应用

智能运维技术通过知识驱动与数据驱动的深度融合,推动设备维护模式向预测性转变。设备健康管理平台集成振动分析、红外热成像等多源数据,运用隐半马尔可夫模型评估设备退化状态,在潜在故障发生前生成维护建议。增强现实技术将设备三维模型与维护流程叠加显示,运维人员通过智能眼镜获取实时操作指导,显著降低现场作业复杂度。知识图谱技术构建故障现象-原因-处理方法的关联网络,当系统检测到异常时,自动推送相似历史案例及解决方案。这些技术手段共同构成闭环运维体系,使设备可用率得到提升。

2.4 电气系统调度中的应用

智能调度技术通过全局优化算法实现资源的高效配置。在微电网调度场景,模型预测控制技术综合考虑光伏出力预测、负荷需求及储能状态,生成未来数小时的最优功率分配方案。区域电网调度系统采用分层分布式架构,上层优化模型基于拉格朗日松弛算法进行经济调度,下层控制模型通过代理控制实现分布式电源的协调

控制^[3]。电力市场环境下,强化学习算法根据历史交易数据与实时电价信息,动态调整发电计划以最大化经济效益。这些调度策略通过高速通信网络实现信息交互,确保系统在多种约束条件下的最优运行。

3 智能技术在电气自动化工程应用中的现存问题

3.1 技术应用适配性问题

智能技术与电气自动化工程融合过程中,技术适配性不足成为制约应用效果的关键因素。在算法选型层面,部分工程盲目追求技术先进性,将深度学习等复杂算法应用于简单控制场景,导致模型训练成本高且实时性难以保障。硬件选型与算法需求不匹配现象普遍存在,如选用计算能力不足的微控制器运行神经网络推理任务,造成系统响应延迟。环境适应性方面,工业现场存在的强电磁干扰、宽温域变化等特殊条件,常使实验室环境下验证的智能算法出现性能退化,需针对具体工况进行参数调优。技术更新迭代速度与工程生命周期的错配问题突出,新算法研发周期远短于电气设备使用寿命,导致已部署系统难以集成最新技术成果。

3.2 应用过程中的运行问题

智能技术在实际运行中暴露出稳定性与可靠性方面的诸多挑战。算法鲁棒性不足导致系统易受数据噪声干扰,在传感器信号波动或通信丢包场景下出现误动作。模型泛化能力欠缺使得训练数据分布与实际工况存在差异时,控制精度显著下降,尤其在处理非线性、时变系统时表现尤为明显。系统自恢复机制不完善,当智能模块出现故障时,缺乏有效的降级运行策略,可能导致整个自动化系统瘫痪。能耗问题随智能程度提升日益凸显,复杂算法运算产生的热量对设备散热设计提出更高要求,部分场景下智能模块功耗甚至超过传统控制方案。

3.3 技术应用中的适配衔接问题

智能技术与现有电气自动化体系的衔接存在多维度障碍。数据层面,异构设备产生的多源数据在格式、时标、精度等方面存在差异,数据清洗与融合过程耗费大量计算资源。通信协议不兼容导致信息交互效率低下,传统工业总线与新兴物联网协议的共存问题尚未完全解决。系统架构层面,智能模块与传统控制单元的集成缺乏标准化接口,需针对不同厂商设备开发定制化适配层。功能划分边界模糊引发责任归属争议,当智能决策导致控制失误时,难以界定是算法缺陷、数据质量问题还是执行机构故障^[4]。人才知识结构断层加剧衔接困难,既懂智能技术又熟悉电气工程的复合型人才匮乏,导致技术落地过程中出现理解偏差与实施偏差。

4 智能技术在电气自动化工程中应用的优化方向

4.1 技术应用适配性优化

智能技术的适配性优化需以电气自动化工程的具体需求为底层逻辑,构建动态响应的技术适配框架。不同工程场景对智能技术的需求存在本质差异:在精密制造场景中,系统需具备微米级定位精度与毫秒级响应能力,这要求控制算法具备高阶非线性处理能力与实时计算性能;在能源管理场景中,系统需平衡供需波动并优化资源分配,这依赖预测模型的长期稳定性与决策策略的全局优化能力。优化过程中,需建立需求-技术映射机制,通过特征提取与需求分解将工程目标转化为可量化的技术指标。例如,在控制算法选择环节,可基于系统动态特性构建算法库,通过模型匹配度评估选择最优算法,并引入参数自适应调整机制,使算法能随系统状态变化动态优化控制参数。此外,适配性优化需兼顾技术演进与工程迭代的协同性,通过建立技术更新评估模型,定期评估现有技术 with 新兴技术的匹配度,制定分阶段技术升级路线图,避免因技术滞后导致的系统效能衰减。

4.2 运行过程优化

运行过程优化是提升电气自动化工程效能的关键环节,其核心在于通过智能技术重构传统运行流程,实现资源分配的智能化与控制策略的动态化。在资源分配层面,可引入智能调度引擎,基于实时数据流对能源、计算资源进行动态分配。例如,通过负载预测模型分析设备运行趋势,提前调整功率分配策略,避免能源浪费;在计算资源分配中,采用容器化技术实现任务与资源的精准匹配,提升系统并发处理能力。在控制策略层面,可构建分层控制架构,将全局优化与局部调整有机结合。上层控制层采用强化学习算法实现轨迹规划与参数优化,下层执行层采用模型预测控制实现精准跟踪,通过分层协同提升系统响应速度与控制精度。同时,运行过程优化需强化故障预测与自愈能力,通过集成多模态传感器网络与深度学习模型,实现对设备状态的实时监测与异常预警。结合知识图谱技术构建故障自愈策略库,当系统检测到异常时,自动匹配最优修复方案并执行,显著缩短故障停机时间。

4.3 应用衔接优化

应用衔接优化聚焦于智能技术各模块间的接口标准化与数据流通效率提升。电气自动化工程中,智能技术通常涉及感知层、控制层与执行层的多环节协同,若各层间接口不统一或数据格式不兼容,将导致信息传递延迟与处理效率低下。优化过程中,需制定统一的接口协议与数据交换标准,例如采用OPCUA协议实现跨平台数据互通,通过JSON格式规范数据结构,降低模块间耦合度。同时,构建中间件层,通过数据转换与协议适配功能,屏蔽底层异构性,使上层应用无需关注底层细节即可实现无缝对接^[5]。在数据流通层面,可引入边缘计算架构,将数据处理任务下沉至靠近数据源的边缘节点,减少数据传输延迟并提升实时性。此外,应用衔接优化需强化数据安全防护,通过国密算法对传输数据进行加密,结合零信任架构实施动态访问控制,防止数据在流过程中被篡改或泄露,保障系统运行的稳定性与可靠性。

结束语

智能技术与电气自动化工程的深度融合,需以技术适配性优化为基础,通过动态选型机制平衡算法复杂度与硬件性能;以运行稳定性提升为核心,构建冗余容错架构与能耗感知调度体系;以体系衔接优化为保障,推动数据治理标准化与系统集成模块化。唯有突破技术适配、运行可靠与体系协同三重瓶颈,才能释放智能技术在复杂工业场景中的全要素潜能,为电气工程智能化转型提供可持续的技术支撑。

参考文献

- [1]杨炜.电气自动化工程中的智能技术应用[J].集成电路应用,2024,41(8):230-231.
- [2]栾俊.电气自动化工程中的智能技术应用[J].集成电路应用,2022,39(10):172-173.
- [3]王江波.电气工程及其自动化智能化技术在建筑电气中的应用[J].消费电子,2026(1):251-253.
- [4]孙新鑫,王金峰,刘海青.智能电网电力工程中电气自动化安装技术的应用与创新[J].消费电子,2026(2):26-28.
- [5]吴雨阳.电气工程及其自动化的智能化技术应用探析[J].模型世界,2025(18):137-139.