

智能化技术在电气自动化控制中的应用分析

陈小兵

(深圳市铭远建设有限公司)

【摘要】随着电气工程技术发展,智能化技术在电气自动化控制中的融合应用成为关键研究方向。文章系统分析了人工智能技术、数据支撑技术和控制优化技术在电气自动化中的应用机制,探究了智能化技术如何增强系统控制性能、提升应用精度与效率、优化系统设计与运维,并详细阐述了其在电力系统智能化调控、智能控制系统构建、自动化生产系统升级、设备状态监测与维护以及电力市场智能决策支持等领域的实际应用场景与实施策略。

【关键词】电气自动化;智能化技术;人工智能;预测性维护

中图分类号: TM76

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.100

Analysis of the Application of Intelligent Technology in Electrical Automation Control

CHEN Xiao-bing

(Shenzhen Mingyuan Construction Co., Ltd.)

【Abstract】With the development of electrical engineering technology, the integration and application of intelligent technology in electrical automation control has become a key research direction. This article systematically analyzes the application mechanisms of artificial intelligence technology, data support technology, and control optimization technology in electrical automation, explores how intelligent technology enhances system control performance, improves application accuracy and efficiency, optimizes system design and operation, and elaborates on its practical application scenarios and implementation strategies in the fields of intelligent regulation of power systems, construction of intelligent control systems, upgrading of automated production systems, monitoring and maintenance of equipment status, and intelligent decision support in the power market.

【Keywords】electrical automation; intelligent technology; artificial intelligence; predictive maintenance

1 引言

当前,全球智能制造浪潮推动电气控制向数字化、网络化与智能化方向快速演进,但国内企业在智能算法实际应用、数据价值深度挖掘及控制系统整合方面仍存在技术断层。智能化技术与电气自动化的深度融合将突破传统控制理论局限,实现从“被动响应”到“主动预测”的范式转变,为电力系统可靠性提升、工业能效优化及设备全生命周期管理带来革命性变革,同时催生新型能源互联网与柔性制造体系的快速发展。

2 智能化技术的关键技术体系

2.1 人工智能技术

机器学习作为人工智能技术的核心范式,通过监督、无监督或强化学习机制从电气系统运行数据中自主挖掘规律,其本质是构建数据驱动的非线性映射模型以替代传统依赖精确数学建模的控制逻辑。神经网络则以多层感知器、LSTM 等结构为载

体,通过激活函数与权值调整实现对电机控制、逆变器调节等场景中时变参数的动态拟合,展现出对永磁同步电机转速与位置信号的高精度估计能力。模糊逻辑通过隶属度函数将电气设备的模糊状态转化为可计算变量,有效解决了传统控制对边界条件敏感的问题。

2.2 数据支撑技术

物联网感知技术以分层架构实现电气系统状态的全面数字化,其设备层通过温湿度、振动、电流等多类型传感器完成物理量采集,边缘层借助网关实现 Modbus 与 MQTT 等协议的转换及噪声数据过滤,连接层则通过 Wi-Fi 6E、NB-IoT 等通信技术实现数据的低延迟传输。大数据分析技术在此基础上构建“采集—处理—输出”的完整链路,数据采集层通过 Flume、Kafka 等工具实现多源异构数据的汇聚,处理层采用 Hadoop 生态的离线计算与 Flink 驱动的实时计算双模式,分别满足设备运行规律挖掘与实时状态监控的需求,输出层则通过 API 接口与可视化工

具将处理结果转化为可供控制决策调用的有效信息,其核心能力体现在每秒万级数据的吞吐与毫秒级的分析响应上。

2.3 控制优化技术

自适应控制通过在线辨识电气系统的动态特性参数,实时调整控制律参数以抵消外部扰动与系统时变特性的影响,其核心在于构建包含参数估计器与控制器的闭环自适应机制,使系统始终保持最优控制性能。预测控制基于滚动时域优化原理,利用历史数据与系统模型预测未来一段时间内的输出轨迹,通过多目标优化函数求解最优控制序列。模拟退火算法作为典型的智能优化算法,模拟物理退火过程中的能量变化机制,通过随机搜索与Metropolis准则实现控制参数空间的全局寻优,能够有效规避局部最优解,在电气自动化系统的PID参数整定、能源分配优化等问题中展现出强鲁棒性。

3 智能化技术在电气自动化控制中的应用优势

3.1 增强系统控制性能

智能化技术通过集成先进传感器与智能算法构建起动态响应闭环,借助模糊逻辑、神经网络等技术对运行环境变化的持续学习,系统能够自动优化控制参数,即便面对工业生产线的多设备协同扰动或电网负荷的峰谷剧烈波动,也能维持最优控制状态,彻底改变了传统控制依赖固定参数、难以适配复杂工况的局限。

3.2 提升应用精度与效率

依托高性能智能处理器与大规模集成电路的算力支撑,智能化技术凭借并行计算架构与数据校验算法的结合实现运算效能质的飞跃,不仅大幅缩短复杂控制模型的求解时间,更将计算过程中的差错率控制在极低水平,为高精度控制指令的生成提供坚实基础,且这种运算优势进一步转化为生产效率的提升。

3.3 优化系统设计与运维

在系统设计阶段,借助互联网与物联网平台搭建的协同环境,智能化技术实现从参数选型到仿真验证全流程自动化,有效规避人工经验决策导致的偏差,在使设计方案更贴合实际工况需求时显著缩

短开发周期。在运维层面,通过对设备运行数据的持续分析与故障模式识别,推动运维模式从被动的“事后维修”转向主动的“预测性维护”,不仅减少因突发故障导致的停机损失,还大幅降低运维成本与人工巡检工作强度,实现运维资源的高效配置。

4 智能化技术在电气自动化控制中的核心应用场景

4.1 电力系统智能化调控

发电阶段,为风光电站配置多参数采集模块,实时捕捉光伏辐照度、风机转速及储能SOC值,结合调度指令调整机组出力,新能源出力骤升时触发储能充电,避免电压波动;输电阶段,运维团队在关键线路部署激光雷达覆冰监测仪与无线测温传感器,数据经5G专网传至调控中心,系统通过数字孪生还原运行状态,覆冰超标时自动启动融冰装置并调整关联线路负荷;配电阶段,台区智能终端采集用户侧电压、电流,三相不平衡超限时自动控制调压器,同步推送过载预警;用电阶段,电网企业通过APP推送实时电价与负荷曲线,引导工业用户错峰安排高耗能生产。

在用户端安装智能电表,每15分钟采集用电数据,通过电力线载波传至营销系统,实现精准计量与异常识别;在配电线路节点装智能开关,其内置保护模块,故障时0.5s内自动分闸并发送故障位置;变电站部署智能传感器,监测变压器油温、GIS气压及电缆温度,传感器低功耗设计,通过LoRa传数据,运维人员远程查看状态,数据超阈值时系统自动生成检修工单,推动运维从“被动响应”转向“主动预警”。

4.2 智能控制系统构建

变电站自动化场景中,在主控室部署边缘计算网关,接入各间隔层保护装置、测控单元的数据,网关实时解析电流、电压、开关状态等参数,当检测到线路短路故障时,自动触发跳闸指令,同时将故障信息同步至远方调度中心;电机控制场景里,为异步电机配置矢量控制系统,通过编码器采集转速信号,结合电流传感器数据,利用PID算法动态调整逆变器输出频率与电压,实现电机转速的精准控制,负载突变时,系统可在200ms内完成参数修正;分布式发电协调场景中,运维人员搭建微网控制系统,实时采集光伏、风电出力数据与负荷需求,当新能源出力不足

时,自动启动柴油发电机补能,同时控制储能系统放电,维持微网电压稳定。

应梳理控制场景中的核心目标,如电机控制中的转速精度与能耗指标,再构建多目标优化函数;选用神经网络算法,以历史运行数据为样本,训练输入与输出的映射模型,通过梯度下降法迭代优化权重;嵌入控制系统,实时接收现场传感器数据,输出最优控制参数;针对复杂场景,引入模拟退火算法,通过随机扰动参数的方式跳出局限,重新寻找全局最优方案。

4.3 自动化生产系统升级

在电路板生产中,在SMT贴片工位部署视觉检测相机,实时捕捉元件贴装位置与焊接状态,相机通过AI图像识别算法对标标准参数,发现偏移或虚焊时立即触发工位暂停,同时推送异常坐标至操作屏;回流焊环节安装温度传感器阵列,实时采集炉内各区域温度曲线,若出现温差超阈值情况,自动调节加热管功率;电子产品组装阶段,生产线配置物联网终端,实时采集各工位产能数据,系统可以自动调整上游工序节拍。

精密装配场景中,为六轴工业机器人搭载力控传感器,编程设定装配力阈值,当检测到力值超限时自动调整姿态;电缆布线场景里,为机器人配置视觉导航模块与柔性机械爪,机器人通过扫描工位二维码定位布线路径,机械爪按预设力度夹持电缆,沿线槽完成自动化布线;设备巡检场景中,部署移动巡检机器人,搭载红外热像仪与超声检测仪,按预设路线巡查生产设备,实时采集电机温度、轴承振动数据,发现异常时自动标记位置并生成巡检报告。

4.4 设备状态监测与维护

针对电机类设备,在轴承端盖安装振动加速度传感器,在定子绕组嵌入PT100温度传感器,传感器每隔10s采集一次数据,通过LoRa无线模块传输至边缘网关;对变压器设备,在油箱壁部署红外温度传感器,在套管处安装局放传感器,实时捕捉油温、局部放电量等关键参数;网关对收集的多源数据进行预处理,剔除噪声干扰后,按设备编号构建动态状态画像,画像包含实时参数曲线、历史数据趋势及健康度评分,运维人员可通过后台系统随时调取,直观掌握设备从投运到老化的全周期状态变化。

预测性维护应先整理设备历史故障数据,标注

不同故障类型对应的参数异常特征,再采用随机森林算法训练预测模型,将传感器实时数据输入模型后,模型输出故障发生概率与剩余寿命;当概率超过预设阈值时,系统自动触发预警,推送故障类型、风险等级至运维终端;运维团队结合模型预测结果与设备运行负荷,制订差异化维护计划,对高风险设备,优先安排停机检修,更换老化部件;对中低风险设备,调整巡检频次,延长维护间隔,避免过度维修导致的资源浪费。

4.5 电力市场智能决策支持

先收集近5年历史负荷数据、气象数据及区域经济指标,按日、周、月划分时间维度,采用ARIMA模型处理负荷数据的线性趋势,用LSTM模型捕捉气象因素对负荷的非线性影响,将两种模型输出结果加权融合,生成多场景下的电力需求预测曲线;构建价格优化模型,输入发电成本、市场供需缺口等参数,模型通过粒子群优化算法计算不同时段最优报价,对需求高峰时段,适当提高报价以匹配高发电成本,对低谷时段,降低报价提升市场竞争力。

风险分析师采用VaR模型量化市场价格波动风险,输入历史价格数据与波动率参数,计算不同置信水平下的潜在损失;引入AI异常检测模型,实时监控交易数据,当识别出异常报价或交易行为时,自动触发风险预警,推送预警信息至监管终端;交易环节,技术团队搭建区块链交易平台,将每笔交易的发电方、用电方、交易量、价格等信息生成加密区块,区块按时间顺序链式存储,所有参与方拥有相同账本,实现交易数据不可篡改。

5 结语

智能化技术与电气自动化控制的融合已从理论探索迈向实践应用阶段,形成了以人工智能为引擎、大数据分析为基础、自适应控制为核心的技术架构,不仅实现了电力系统全环节数字化调控、工业生产过程精准管理、设备全生命周期健康监测,更推动了传统电气工程向“数据驱动、预测决策”的智慧化模式转型。未来研究应聚焦于人工智能、区块链与量子计算等前沿技术在电气智能控制中的融合创新应用,构建更具鲁棒性与自主学习能力的智能电气系统。