

智能化技术在电气自动化中的应用

黄紫维

广东雷能电力集团有限公司 广东 湛江 524000

摘要：电气自动化作为能源与工业领域的核心支撑，其高效运行直接影响系统稳定性与经济性。本文解析了电气自动化的体系架构，包括设备层、控制层、数据层和应用层的协同机制；其次阐述智能化技术的核心内容，涵盖人工智能、大数据、物联网、云计算的技术内涵；重点分析了智能化技术在电气自动化系统控制、设备状态监测与故障诊断、电力系统自动化、工业电气生产及安全防护中的具体应用，涉及智能控制算法、物联网感知、AI调度、数字孪生等技术的实践方式。研究表明，智能化技术通过数据驱动与算法协同，推动电气自动化系统向高效化、精准化演进，为相关领域的技术升级提供支撑。

关键词：智能化技术；电气自动化；具体应用

引言

随着智能化技术的快速发展，人工智能、大数据等技术与电气自动化的融合成为行业升级的关键路径。传统电气自动化系统在动态调控、设备管理等方面存在局限，亟需通过智能化技术突破瓶颈。本文首先梳理电气自动化的体系架构与智能化技术的核心内容，再从控制、监测、调度、生产、安全五个维度，系统分析智能化技术的具体应用，旨在明晰技术融合的实践逻辑，为相关研究与应用提供参考。

1 电气自动化的体系架构

电气自动化的体系架构是实现电力与工业系统高效运行的核心框架，其结构可分为以下设备层、控制层、数据层和应用层四个核心层次，各层级既独立运行又紧密联动。（1）设备层由，各类电气设备与传感装置组成。其中，执行设备包括电机、断路器、变频器等电力电子器件，负责完成能量转换与物理操作；传感设备则通过电流、电压、温度等传感器，实时采集设备运行状态的原始数据，为上层决策提供依据。（2）控制层，该层级以PLC（可编程逻辑控制器）、DCS（分布式控制系统）、SCADA（监控与数据采集系统）为核心，接收设备层传来的感知数据，依据预设逻辑或动态算法生成控制指令，再下发至执行设备。控制层的关键在于实时性与可靠性，需在毫秒级时间内完成数据处理与指令输出。（3）数据层，负责数据的存储、转换与传输。通过工业总线（如PROFINET、Modbus）和工业以太网，数据层将控制层的实时数据与应用层的业务数据整合，存入数据库或数据中台。该层需解决异构数据的兼容问题，例如将传感器的模拟量数据、设备的开关量数据统一转换为标准化格式，为上层分析提供一致的数据基

础。（4）应用层，基于数据层提供的信息，应用层通过人机交互界面（HMI）、管理系统（如MES制造执行系统）实现对整个电气系统的监控、优化与决策。如在智能电网中，应用层可通过负荷分析模型调整电力分配策略；在工厂自动化中，可通过生产数据统计优化设备利用率^[1]。

2 智能化技术的核心内容

智能化技术的核心构成包括以下人工智能、大数据、物联网、云计算等关键技术（1）人工智能，核心内涵在于模拟人类智能行为的算法体系。它以机器学习、深度学习、自然语言处理等为核心分支，通过构建数学模型对数据进行特征提取与模式识别，实现从经验积累到自主决策的能力跃迁。机器学习聚焦于通过数据训练优化模型参数，使系统具备预测与分类能力；深度学习则依托多层神经网络结构，处理非线性、高维度的复杂数据，在图像识别、语音处理等领域展现出强大效能；而知识图谱技术通过构建实体与关系的语义网络，实现对结构化知识的高效组织与推理，为决策提供逻辑支撑。（2）大数据技术，核心内涵在于对海量异构数据的深度挖掘与价值转化。它以“Volume（规模）、Velocity（速度）、Variety（多样性）、Value（价值）、Veracity（真实性）”为典型特征，核心在于突破传统数据处理技术在存储容量、处理速度与分析维度上的局限。其技术体系涵盖数据采集的分布式感知技术、存储层面的分布式文件系统与列存数据库、处理阶段的批处理与流处理框架，以及分析环节的统计建模与数据挖掘算法。（3）物联网技术，核心内涵是构建“物物相连”的泛在感知网络，实现物理世界与数字世界的无缝映射。它以传感器、射频识别（RFID）、嵌入式系统为感知终端，

通过无线通信网络与有线传输技术,将设备、环境、物体的状态信息实时接入数字平台。其核心技术包括感知层的微型化、低功耗传感技术,网络层的异构网络融合与边缘计算协同,以及应用层的设备管理与数据交互协议。(4)云计算技术,核心内涵是通过分布式计算架构实现算力与资源的弹性供给,为智能化应用提供高效的计算支撑。它以“服务化”为核心模式,通过IaaS(基础设施即服务)、PaaS(平台即服务)、SaaS(软件即服务)三层架构,将计算、存储、网络等硬件资源与操作系统、开发工具等软件资源整合为可按需调配的共享资源池。其核心技术包括虚拟化技术、分布式计算框架、负载均衡与容错机制,以及云安全技术^[2]。

3 智能化技术在电气自动化中的具体应用

3.1 在电气自动化系统控制中的应用

智能控制算法在电气自动化系统控制中,通过多维度数据融合实现精准调控。模糊控制与神经网络算法整合于电机调速与过程控制环节,前者基于专家经验构建模糊规则库,将转速偏差、负载变化等输入量转化为模糊语言变量,经模糊推理与解模糊处理生成调速指令;后者通过多层神经元网络拟合转速与电压、电流的非线性关系,利用反向传播算法优化网络权重,动态修正输出参数以适配工况波动。

自适应控制与优化依托大数据技术构建动态调节机制,通过实时采集系统运行数据(如功率因数、温度漂移),建立控制参数与工况的映射模型。系统根据模型输出自动调整PID参数、PWM占空比等关键变量,当检测到负载突变或环境参数偏离阈值时,触发参数自整定流程,无需预设固定控制策略即可维持系统稳定。数据处理采用边缘节点与云端协同模式,边缘层负责实时数据过滤与初步计算,云端进行历史数据建模与算法迭代,确保参数调整的时效性与准确性。

分布式智能控制在复杂电气系统中通过节点去中心化部署实现协同调控。控制节点分散嵌入变电站、配电室等关键环节,每个节点配备本地处理器与通信模块,基于电力线载波或无线专网实现数据交互。节点根据本地采集的电压、电流数据与全局同步信息,自主执行功率分配、潮流调节等任务,同时参与全局优化决策。

3.2 在电气设备状态监测与故障诊断中的应用

基于物联网的设备状态实时感知系统,通过分层部署传感器构建全域监测网络。在变压器、断路器等关键设备上安装光纤光栅、红外测温等传感器,采集温度、振动、局部放电等状态量,传感器采用隔爆、防腐设计以适应高压、多尘环境。感知层通过Mesh自组网技术形

成冗余通信链路,数据传输采用时分复用机制避免信号冲突,边缘网关对采集数据进行降噪、归一化处理,提取有效特征后上传至监测平台。平台通过时间戳同步各传感器数据,构建设备运行状态的时空关联图谱,实现状态量的全域可视化。

大数据分析机器学习在故障诊断中通过多维度数据挖掘构建诊断模型。数据层整合设备历史故障记录、检修报告与实时监测数据,形成结构化故障数据库,采用特征工程方法提取振动频谱、温度梯度等关键特征量,通过主成分分析降低数据维度。模型训练阶段,利用随机森林、深度学习等算法对特征数据进行分类学习,构建故障类型与特征量的映射关系,同时引入迁移学习解决样本不平衡问题。诊断过程中,实时特征数据输入模型后,输出故障概率分布与置信度,结合专家规则库修正诊断结果,形成“数据驱动+知识辅助”的双轨诊断机制^[3]。

3.3 在电力系统自动化中的应用

智能电网中的负荷预测与动态调度依托AI模型实现多时间尺度预测。短期预测模型整合小时级气象数据、用户用电模式等实时数据,采用LSTM神经网络捕捉负荷序列的时序依赖关系;长期预测结合季度经济指标、产业用电结构变化,通过梯度提升树算法构建宏观预测模型。预测结果经误差修正后生成负荷曲线,作为调度计划制定的基础。动态调度系统根据预测曲线与实时负荷偏差,通过滚动优化算法调整发电机组出力,采用模型预测控制策略平衡供需关系,调度指令通过加密信道下发至各电厂执行终端。

分布式能源接入的智能协调控制通过多源协同算法实现功率平衡。在新能源并网点部署智能控制器,实时监测光伏板、风机的出力数据与电网电压、频率状态,控制器内置功率预测模型与储能协调策略,当新能源出力波动时,优先调用储能系统进行平抑,超出储能调节能力时,通过需求响应机制调整可中断负荷。协调控制采用分层架构,本地控制器负责毫秒级功率调节,区域协调中心处理跨区域功率交换,确保新能源接入不影响电网稳定。

电力系统自愈控制与智能决策支持系统通过全域监测与快速决策构建防御体系。广域测量系统实时采集电网潮流、功角等动态数据,数据经同步相量技术处理后生成系统状态快照,上传至决策平台。平台通过风险评估模型识别潜在故障(如线路过载、电压崩溃),基于故障树分析生成预控方案,当故障发生时,自愈系统自动触发隔离指令,通过断路器联动切断故障区域,同时调用备

用电源与负荷转移策略恢复供电。决策支持系统整合电网拓扑、设备参数等静态数据与实时状态信息,为调度人员提供可视化决策建议,辅助制定最优恢复方案。

3.4 在工业电气自动化生产中的应用

智能制造中的电气自动化集成通过标准化接口实现多设备协同控制。智能机器人与自动化生产线的控制指令通过工业以太网实现实时交互,采用OPCUA协议统一数据格式,确保机器人动作参数、生产线速度等信息的无缝传递。控制系统采用集中-分布式架构,中央控制器负责生产计划分解与任务分配,各设备控制器执行具体动作并反馈状态,通过时间同步协议保证动作协同性。控制逻辑中嵌入冲突检测机制,当机器人作业范围与生产线运动轨迹存在交叉时,自动触发避让程序,避免设备干涉。

数字孪生技术在电气生产流程优化中通过虚实映射实现全流程仿真。在虚拟空间构建生产线的三维模型,模型参数与物理设备实时同步,涵盖电机转速、传送带位置等动态数据。通过导入生产计划与工艺参数,在虚拟环境中模拟生产流程,分析设备负载分布、工序衔接效率等关键指标,识别瓶颈环节。优化方案在虚拟模型中验证可行性后,生成控制参数调整指令,下发至物理系统执行,同时通过虚拟调试减少物理设备停机时间,实现生产流程的持续迭代优化。

能效智能管理与节能优化依托数据挖掘技术构建能耗调控体系。在生产车间部署智能电表、流量传感器,采集各工序的电能消耗、设备运行时间等数据,数据经清洗后按工序、设备类型分类存储。通过关联规则挖掘分析能耗与生产负荷、环境温度的关系,识别低效运行模式,构建能耗预测模型。基于模型输出制定动态节能策略,当生产负荷处于低谷时,自动调整变压器分接头、关停冗余设备;当环境温度适宜时,切换通风系统运行模式,通过多维度调控实现能耗优化。

3.5 在电气自动化安全防护中的应用

智能安防系统通过多维感知构建立体防护网,在变电站、配电室周边部署红外对射、振动光纤等周界监测设备,设备区域安装高清摄像头与声音传感器,形成

“空间-边界”双重监测。监测数据实时传输至安防平台,通过视频图像识别、声音特征分析区分正常操作与异常行为,检测到未经授权入侵时,触发声光报警、联动门禁锁定区域并推送预警信息,系统支持按设备重要性自定义防护等级与响应策略。电气火灾智能监测与联动控制通过多参数融合实现预警,在电缆沟、开关柜等区域安装温度、烟雾、一氧化碳传感器,采用总线式连接减少布线复杂度。监测系统将数据输入火灾判定模型,经逻辑回归算法计算火灾概率,超过阈值时自动启动联动控制:切断区域电源、开启排烟风机、关闭防火阀,同时上传火灾位置与处置状态至消防平台,系统具备自诊断功能以校验传感器精度。

网络安全防护依托多层防御机制,边界部署工业防火墙与入侵检测系统,基于白名单过滤非授权通信,深度解析Modbus、DNP3等工业协议以识别异常指令;终端采用主机加固技术,限制USB接口与远程登录功能,安装工业级杀毒软件扫描恶意代码;数据传输通过加密算法保护控制指令与监测数据。安全管理平台通过日志分析追踪网络行为,发现可疑连接或异常操作时,自动隔离终端并启动应急响应,保障控制网络稳定运行^[4]。

结束语

智能化技术与电气自动化的深度融合,在系统控制中提升了动态调节能力,在设备管理中强化了状态感知与诊断效能,在电力调度与工业生产中优化了资源配置,在安全防护中构建了多维保障体系。这种融合不仅依托技术协同突破传统模式局限,更形成了数据驱动的全流程管理机制。

参考文献

- [1]王晓伟.智能化技术在电气自动化中的应用[J].砖瓦世界,2020(10):284-285.
- [2]宋泰珍,王毓栋.智能化技术在电气自动化中的应用[J].自动化应用,2023,64(6):42-44.
- [3]郝守振.智能化技术在电气自动化中的应用[J].中国科技投资,2021(10):49-50.
- [4]王维涛.智能化技术在电气自动化中的应用[J].电力系统装备,2021(6):168-169.