

电气工程自动化信息技术关键及其节能设计要点

吴志宏 苏宇飞 杨德宇

国网新疆电力有限公司乌鲁木齐供电公司 新疆 乌鲁木齐 830011

摘要：作为现代工业与社会运行的基石，电气工程领域正经历着由自动化、信息化向智能化深度演进的变革。在此背景下，如何将先进的信息技术与节能设计理念深度融合，成为提升电气系统能效、实现可持续发展的关键路径。本文旨在系统性地探讨电气工程自动化中的核心技术体系，深入剖析其在节能降耗方面的应用逻辑，并提出一套完整的节能设计要点与实施策略。文章首先梳理了电气工程自动化的发展脉络与内涵，继而详细阐述了包括物联网（IoT）、大数据分析、人工智能（AI）、数字孪生及云计算在内的关键技术及其在能效管理中的具体应用。在此基础上，本文从系统架构、设备选型、控制策略、能量回收与管理等多个维度，构建了一套覆盖全生命周期的节能设计框架。以期对相关领域的研究与实践提供理论参考和实践指导。

关键词：电气工程自动化；信息技术；节能设计；物联网；人工智能

引言：21 世纪，人类迎来数字化、网络化、智能化科技革命。电气工程是现代社会的“主动脉”，其自动化水平关乎国家能源安全、产业竞争力与居民生活质量。传统电气工程聚焦电能生产等环节，自动化侧重局部效率与安全提升。但在“双碳”目标下，单纯效率优化无法满足需求，系统性节能降耗成新使命。与此同时，物联网等新兴信息技术快速渗透各领域，为电气工程自动化带来新活力。这些技术能实时感知采集电气数据，深度挖掘分析揭示运行规律，驱动决策从“被动响应”转向“主动预测”。IT 与 OT 深度融合催生新一代智能电气系统，通过数据驱动实现能源与信息流协同优化，达成极致能效目标。因此，研究电气工程自动化中的信息技术关键及节能设计要点，意义重大。这是应对能源挑战、推动学科发展的必然要求，本文将就此展开全面论述。

1 电气工程自动化的发展与内涵演进

电气工程自动化是随技术进步不断演化的动态体系，大致分三个阶段：一是机械化与初步自动化阶段（20 世纪初至中期），用继电器、接触器等机电设备替代人工操作，实现基础元件自动启停与保护，特点是“硬接线”逻辑，功能单一、灵活性差，节能靠硬件设备更新。二是数字化与集成自动化阶段（20 世纪后期至 21 世纪初），PLC、DCS 和 SCADA 广泛应用，电气自动化进入数字化时代，能集中监控数据、逻辑控制及流程优化。节能从单点向系统拓展，如变频调速技术根据负载需求调整电机转速，降低设备能耗。三是信息化与智能自动化阶段（21 世纪至今），是当前及未来主流，核心是 IT 与

OT 深度融合，电气系统成为复杂信息物理系统，目标是“智能化”，能自主感知、理解、预测并决策。节能设计从基于规则转向基于模型预测性优化，从局部转向全局能效协同^[1]。如今，现代电气工程自动化内涵远超传统，是以物理电气系统为基础，先进信息技术为赋能手段，以安全、可靠、高效、绿色为目标的综合性工程体系，信息技术是实现高级别节能目标的关键。

2 电气工程自动化中的信息技术关键

2.1 物联网（IoT）与泛在感知

物联网是构建智能电气系统的“感官”。通过在电网、配电柜、用电设备、传感器等关键节点部署低成本、低功耗、高精度的智能传感终端（如电流/电压互感器、温度传感器、振动传感器、智能电表等），可以实现对整个电气系统运行状态的全方位、无死角、实时在线监测。泛在感知是所有节能策略的前提。只有获取了真实、全面、细粒度的能耗数据（如分项计量、分时计量），才能准确识别能源浪费的“黑洞”。例如，通过对生产线各工位设备的独立计量，可以精确分析出哪些工序或设备存在异常高耗能现象，为后续的诊断与优化提供数据基础。此外，环境参数（如温湿度、光照）的感知也为基于环境自适应的照明、空调等系统的节能控制提供了依据。

2.2 大数据分析 with 能效洞察

电气系统在运行过程中会产生海量的时序数据。大数据技术提供了存储、处理和分析这些数据的强大能力。通过数据清洗、融合、关联分析等手段，可以从看

似杂乱无章的数据中挖掘出有价值的模式和规律。大数据分析能够回答“我们用了多少能？”、“在哪里用的？”、“为什么这样用？”等关键问题。（1）能效基准建立：通过历史数据分析，可以为不同类型的设备、产线或建筑建立科学的能效基准（KPI），用于横向（同类系统间）和纵向（自身不同时期）的能效对标。（2）异常检测与诊断：利用统计学方法或机器学习算法，可以自动识别出偏离正常能耗模式的异常事件，如设备老化导致的效率下降、管道泄漏造成的泵功耗增加等，并精确定位故障源^[2]。（3）负荷预测：基于历史负荷曲线、生产计划、天气预报等多源数据，可以构建高精度的短期乃至中长期负荷预测模型，为电网调度、储能充放电策略以及需求侧响应提供决策支持，避免不必要的备用容量和能源浪费。

2.3 人工智能（AI）与智能决策

如果说大数据分析揭示了“是什么”和“为什么”，那么人工智能则致力于解决“怎么办”的问题。AI，特别是机器学习（ML）和深度学习（DL），能够从数据中学习复杂的非线性关系，并构建预测和优化模型。（1）预测性维护（PdM）：通过分析设备运行数据（如电流谐波、振动频谱、温度趋势），AI模型可以预测设备的剩余使用寿命和潜在故障，从而将传统的“定期检修”或“事后维修”转变为“按需维护”。这不仅能避免因突发故障导致的生产中断和能源损失，还能防止设备在亚健康状态下低效运行。（2）智能优化控制：AI可以用于求解复杂的多变量、多约束优化问题。例如，在暖通空调（HVAC）系统中，AI控制器可以根据室内外温湿度、人员密度、电价信号等实时输入，动态调整冷水机组、冷却塔、水泵和风机的运行组合与参数，始终将系统维持在全局最优的能效点上，而非仅仅满足设定的温湿度要求。（3）自适应学习：AI系统具备持续学习的能力，能够根据新的运行数据不断修正和优化其模型与策略，使节能效果随着时间的推移而不断提升。

2.4 数字孪生（Digital Twin）与虚拟仿真

数字孪生是物理世界在数字空间中的动态、高保真映射。它通过集成IoT数据、机理模型、AI算法等，构建一个与物理电气系统同步演化的虚拟副本。（1）方案预演与评估：在对现有系统进行任何改造（如更换变压器、加装无功补偿装置、调整控制逻辑）之前，可以在数字孪生体上进行无数次的虚拟仿真，精确评估不同方案的节能潜力、投资回报率和潜在风险，从而选出最优方案，避免了“试错”带来的成本和不确定性。（2）实时优化与监控：数字孪生体可以实时反映物理系统的

状态，并利用内置的优化引擎，为现场操作人员提供最优的运行建议。同时，它还可以对物理系统的行为进行预测，提前预警可能出现的能效下降问题。

2.5 云计算与边缘计算协同

云计算提供了近乎无限的计算和存储资源，适合处理大规模、非实时的分析任务（如历史数据分析、模型训练）。而边缘计算则将计算能力下沉到靠近数据源的网络边缘（如网关、PLC），能够实现毫秒级的本地实时响应。两者协同工作，构成了高效的能效管理架构。边缘计算负责执行需要快速响应的本地控制逻辑（如电机的紧急停机、电压暂降的快速补偿），确保系统安全稳定；而云计算则负责汇集来自多个边缘节点的数据，进行全局性的能效分析、模型训练和策略下发。这种“云-边”协同模式，既保证了控制的实时性，又实现了分析的全局性和深度，是支撑大规模、复杂电气系统节能运行的理想架构。

3 节能设计的核心要点与实施策略

基于上述关键技术，电气工程的节能设计应贯穿于项目的规划、设计、建设、运行和维护全生命周期，并形成一套系统化的方法论。

3.1 系统架构层面的顶层设计

（1）一体化能效管理平台：打破传统“信息孤岛”，构建一个统一的、开放的能效管理平台。该平台应能无缝集成来自不同子系统（供配电、照明、暖通、工艺设备等）的数据，并提供标准化的数据接口，为上层的分析与应用奠定基础。（2）模块化与可扩展性：系统架构应采用模块化设计，便于根据实际需求灵活增减功能模块（如增加光伏监控、储能管理等），并能随着技术的发展平滑升级，保护既有投资^[3]。（3）安全与可靠性优先：节能措施的实施绝不能以牺牲系统的安全性和可靠性为代价。所有节能控制逻辑都必须经过严格的安全评估，并设置完善的故障回退机制。

3.2 设备选型与配置优化

（1）高效设备优先：在满足性能要求的前提下，优先选用符合国家一级能效标准或国际高能效认证（如ENERGY STAR）的设备，如高效电机、变压器、LED灯具等。虽然初期投资较高，但其在整个生命周期内的节能收益通常远超成本差异。（2）变频调速技术的普及应用：对于负载变化频繁的风机、水泵、压缩机等设备，应强制采用变频调速技术。这是目前公认的投资回报率最高、效果最显著的节电措施之一。（3）无功补偿与谐波治理：合理配置无功补偿装置（如SVG、APF），提

高功率因数,减少线路损耗。同时,针对非线性负载产生的谐波,采取有效的滤波措施,改善电能质量,避免谐波对其他设备造成的额外能耗和损害。

3.3 智能控制策略的深度应用

(1) 基于需求的精准控制:摒弃“长明灯”、“恒定风量”等粗放式管理模式。照明系统应结合自然光感应、人体移动感应实现按需点亮;空调系统应根据实际冷热负荷、人员分布进行区域化、个性化调节。(2) 多能互补与协同优化:在具备条件的场景(如园区、工厂),应统筹考虑电、热、冷、气等多种能源形式。通过构建综合能源管理系统(IEMS),实现多种能源的梯级利用、时空互补和协同优化。例如,利用低谷电价时段的富余电力进行蓄冷/蓄热,在高峰时段释放,既能降低用能成本,又能削峰填谷^[4]。(3) 需求侧响应(DSR):与电网互动,参与需求侧响应项目。在电网负荷高峰或电价高昂时段,根据预设策略,自动削减或转移部分可中断、可调节的负荷(如暂停部分非关键生产设备、调整储能充放电策略),获取经济补偿的同时,也为电网稳定做出贡献。

3.4 能量回收与再利用

(1) 余热/余压回收:在工业过程中,大量蕴含在废气、废水、废料中的余热、余压被白白浪费。应积极采用热交换器、余热锅炉、蒸汽透平发电等技术,将这部分能量回收并用于预热、供暖或发电。(2) 再生制动能量回馈:对于电梯、起重机、电动汽车充电桩等具有频繁启停和制动特性的设备,应采用能量回馈单元,将制动过程中产生的电能回馈至电网或直流母线,供其他设备使用,而非通过制动电阻以热能形式消耗掉。

3.5 全生命周期的运维管理

(1) 建立能效 KPI 考核体系:将能效指标纳入日常管理和绩效考核,明确责任主体,形成持续改进的驱动力。(2) 常态化能效审计:定期开展专业的能效审计,利用前述的 IT 工具,全面诊断系统能效状况,发现新的节能机会。(3) 人员培训与意识提升:加强对运维人员的技术培训,使其熟练掌握智能系统的操作与维护技能。同时,通过宣传和教育,提升全体员工的节能意识,鼓励其在日常工作中践行节能行为。

4 结语

电气工程自动化与信息技术深度融合,开启了节能新时代。本文阐述了物联网等关键技术 in 电气能效管理中的核心作用,提出涵盖全生命周期的节能设计要点。以数据驱动、智能为核心的设计理念,突破了传统节能瓶颈,实现从“看得见”到“做得好”的跨越。展望未来,电气工程自动化节能技术将持续演进:一是 AI for Science,将物理与数据驱动模型深度融合,提升节能决策科学性;二是“光-储-直-柔”新型配电系统,直流配电和柔性用电成趋势,给交流配电自动化带来新挑战与机遇;三是区块链赋能能源交易,在微电网等场景下,P2P 能源交易让节能和产能价值更公平透明兑现。

参考文献

- [1] 邝艳苹. 电气工程自动化信息技术关键及其节能设计要点[J]. 电子元器件与信息技术,2024,8(08):175-177.
- [2] 韩波,郑庆强,韩玉勇,等. 电气工程自动化信息技术及节能措施探析[J]. 信息记录材料,2022,23(10):141-143.
- [3] 郑庆强,韩波,韩玉勇,等. 电气工程自动化信息技术及其节能设计分析[J]. 信息记录材料,2022,23(09):168-170.
- [4] 胡春鹏. 电气工程自动化信息技术及节能措施的研究[J]. 现代工业经济和信息化,2022,12(04):256-257.