

电气工程及其自动化的节能控制技术应用研究

李孟茜

海湾工程有限公司保定分公司 河北 保定 071000

摘要: 随着全球能源危机日益加剧与可持续发展理念深入人心, 电气工程及其自动化领域的节能控制技术应用研究愈发关键。该研究聚焦于借助先进技术手段, 对电气系统运行过程实施精准监测与智能调控, 以降低能源损耗、提升能源利用效率。从智能照明到工业电机节能, 从建筑能源管理到电力系统优化, 节能控制技术正广泛渗透, 为电气工程领域的绿色转型与可持续发展提供坚实技术支持。

关键词: 电气工程及其自动化; 节能控制技术; 典型应用

引言: 在全球能源需求持续增长、传统能源日益枯竭以及生态环境压力不断增大的背景下, 节能减排已成为时代发展的必然要求。电气工程及其自动化作为现代工业与生活的核心支撑领域, 其能源消耗问题备受关注。节能控制技术凭借精准监测、智能调节等优势, 能有效降低电气系统能耗、提升能源利用效率。深入探究该技术在电气工程及其自动化中的应用, 对推动行业绿色转型、实现可持续发展具有重大且深远的意义。

1 电气工程及其自动化节能控制技术理论基础

1.1 电气工程自动化概述

(1) 自动化系统的组成与功能: 主要由检测单元、控制单元、执行单元及通信单元构成, 核心功能是实现电气设备运行状态的实时监测、精准调控与故障预警, 通过自动化流程替代人工操作, 提升运行稳定性与效率, 为节能控制提供基础支撑。(2) 关键技术: 涵盖PLC可编程控制技术, 实现逻辑运算与流程管控; 高精度传感器技术, 采集能耗、负载等核心数据; 智能算法技术, 为节能决策提供运算支撑, 三类技术协同构成自动化节能控制的核心技术体系。

1.2 节能控制技术原理

(1) 能量优化分配理论: 基于能量守恒与梯级利用原理, 通过合理分配能量资源, 减少无效能耗与能量损耗, 实现能量在各设备、各环节的最优配置, 提升整体能源利用率。(2) 动态负载调节与效率最大化模型: 依据负载实时变化特性, 构建效率最大化数学模型, 通过动态调节设备运行参数, 使设备始终处于高效运行区间, 避免轻载、过载导致的能耗浪费。(3) 智能控制算法: 包括模糊控制适配复杂非线性系统、神经网络实现精准预测与调控、遗传算法优化多目标节能方案, 为动态工况下的节能控制提供高效运算方法^[1]。

1.3 节能控制技术分类

(1) 基于设备优化的节能技术: 聚焦单台电气设备的结构改进与运行参数优化, 例如电机变频改造、变压器节能升级等, 通过提升单设备能效降低能耗, 具有实施简单、针对性强的特点。(2) 基于系统集成的节能技术: 从系统整体视角出发, 通过设备协同联动、流程优化与系统重构, 实现全局节能。例如工业生产线多设备协同控制、建筑能源系统集成管理等, 核心是提升系统整体能源利用效率。(3) 基于数据驱动的智能节能技术: 依托大数据分析、人工智能等技术, 挖掘能耗数据关联规律, 预测能耗变化趋势, 生成动态优化控制策略。通过数据赋能实现节能控制的精准化与智能化, 是当前节能技术的重要发展方向。

2 电气工程及其自动化节能控制技术的典型应用

2.1 工业生产领域

(1) 电机系统节能控制: 核心采用变频调速与软启动技术, 解决传统电机恒速运行与负载波动不匹配的能耗问题。变频调速通过调节供电频率改变电机转速, 精准适配负载需求, 例如在风机、水泵等变负载设备中, 可降低30%以上的无效能耗; 软启动技术则通过平滑提升电机端电压, 避免启动瞬间大电流冲击造成的能量损耗, 同时延长电机及传动设备使用寿命, 广泛应用于机床、输送机等工业动力设备。(2) 工业锅炉与加热设备的能效优化: 依托自动化控制系统实现燃烧过程与负荷需求的动态匹配。通过传感器实时采集炉膛温度、烟气成分、蒸汽压力等参数, 经智能算法调控燃料供给量与空气配比, 确保燃烧充分, 减少未燃尽物与排烟热损失; 同时采用余热回收联动控制, 将高温烟气余热用于预热助燃空气或生产用水, 使锅炉热效率提升5-10%, 常见于化工、冶金等高温生产场景^[2]。(3) 生产线能量回收与再利用技术: 通过变频回馈、液压能回收等自动化装置, 捕获生产过程中的冗余能量并转化为电能或机械能重新利用。例如

在起重设备下放重物、机床制动过程中，将动能转化为电能反馈至电网；在压力加工生产线中，回收液压系统的冗余压力能驱动辅助设备，实现能量梯级利用，降低生产线整体能耗15-20%。

2.2 建筑能源管理领域

(1) 智能照明系统的节能控制：融合传感器检测、PLC控制与无线通信技术，实现照明的精细化管控。通过人体感应、光照传感器实时监测室内人员状态与自然光强度，自动调节灯具开关与亮度；结合时间编程功能，适配建筑不同区域（办公室、走廊、停车场）的使用规律，相较于传统照明系统可节能40%以上，广泛应用于商业综合体、写字楼等建筑。(2) 空调系统的变频与温湿度协同调控：采用变频压缩机与智能调控算法，解决传统空调定频运行的能耗浪费问题。通过温度、湿度传感器采集室内环境参数，结合室外气象数据，动态调节压缩机转速、风机风量及水系统流量，实现温湿度精准协同控制；同时联动新风系统，在保证室内空气质量的前提下，合理利用室外新风降温除湿，降低空调系统能耗30-50%，是建筑节能的核心技术之一。(3) 建筑能耗监测与动态优化平台：构建覆盖电力、供水、供热等全能耗类型的监测网络，通过智能电表、水表等终端设备实时采集能耗数据，经云平台进行数据分析与趋势预测。平台可识别能耗异常点，推送节能优化建议，例如调整空调运行时段、优化照明控制策略；同时支持能耗数据可视化展示与报表生成，为建筑能源管理决策提供数据支撑，助力建筑实现精细化节能管理^[3]。

2.3 新能源与智能电网领域

(1) 分布式发电系统的功率平衡控制：针对光伏、风电等分布式电源出力波动大的特点，采用储能协同与智能调控技术，实现发电功率与负荷需求的动态平衡。通过功率预测算法预判分布式电源出力，结合负荷监测数据，实时调节储能设备充放电状态与并网逆变器输出功率，避免出力波动对电网造成冲击，保障分布式发电系统稳定并网运行，提升新能源消纳率。(2) 储能设备的充放电优化策略：基于电网负荷峰谷差、新能源出力特性及电价机制，通过智能算法制定储能设备充放电优化方案。在电网负荷低谷时段（电价低），储能设备充电储存电能；在负荷高峰时段（电价高）或新能源出力不足时，储能设备放电补能，既缓解电网供电压力，又实现电能的错峰套利；同时配合电网调频、调压需求，动态调整充放电功率，提升电网运行稳定性^[4]。(3) 微电网的能量调度与需求响应技术：构建包含分布式电源、储能设备、负荷的微电网能量管理系统，实现内部能量的自

主优化调度。通过智能调度算法，合理分配分布式电源出力、储能充放电与负荷用电，实现微电网经济高效运行；同时响应电网需求响应信号，在电网出现供电紧张或故障时，微电网可切换至孤岛运行模式保障关键负荷供电，或调整内部负荷用电策略（如削减非关键负荷），助力电网平稳运行，提升能源供应可靠性。

3 电气工程及其自动化节能控制技术的关键词与挑战

3.1 技术层面问题

(1) 传感器精度与数据实时性不足：节能控制依赖精准数据支撑，但复杂工业环境、建筑电磁干扰易导致传感器测量偏差，同时数据传输延迟会影响控制指令响应速度，降低节能调控的精准度与有效性，制约系统整体节能效果。(2) 多设备协同控制的复杂性：工业生产线上、智能建筑等场景中，多类型电气设备存在耦合关联，不同设备节能目标存在差异，实现全局最优的协同控制需破解设备间通信兼容、控制策略冲突等难题，系统复杂度显著提升。(3) 算法鲁棒性与适应性优化：现有智能算法在负载突变、环境参数波动等复杂工况下适应性不足，易出现控制失稳，如何提升算法在多变量、强干扰场景下的鲁棒性，适配不同应用场景的动态变化，是技术优化的核心难点。

3.2 经济与管理层面问题

(1) 初期投资成本与长期收益的平衡：节能控制设备购置、系统改造需高额初期投入，而节能收益呈现长期缓释特性，部分企业、建筑方因短期经济效益不明显降低投入意愿，制约技术推广应用。(2) 节能标准与政策激励的完善需求：当前部分领域节能标准缺失或执行不严，同时政策激励力度不足、补贴机制不完善，难以有效引导市场主体主动采用先进节能技术，市场推广动力不足。

3.3 环境与可持续性挑战

(1) 节能技术与碳排放的量化关联分析：现有技术难以精准量化节能措施对应的碳减排量，缺乏科学核算方法，无法为低碳转型提供精准数据支撑，影响节能技术的低碳价值挖掘。(2) 废弃电子设备的回收与资源化利用：节能控制设备更新迭代产生大量废弃电子元件，若回收处理不当易造成环境污染，而当前回收体系不完善、资源化利用技术滞后，制约节能技术全生命周期的可持续性。

4 电气工程及其自动化节能控制技术的优化策略与创新研究

4.1 基于多目标优化的控制算法改进

(1) 结合深度学习的动态预测模型：融合深度学习强大的特征提取与时序预测能力，构建涵盖负载变化、环境参数、能源价格等多维度的动态预测模型。通过海量历史运行数据训练，精准预判未来时段的能源需求与设备运行状态，为节能控制策略制定提供前瞻性支撑，解决传统算法对动态工况预判不足的问题，提升控制决策的科学性与预见性，使设备运行提前适配最优节能状态。(2) 多智能体协同控制框架设计：基于多智能体系统理论，将复杂节能控制系统拆解为多个独立且交互的智能体单元，每个智能体负责特定设备或区域的节能控制。通过设计分布式通信与协同决策机制，实现各智能体间的信息共享与目标协同，破解多设备、多环节耦合场景下的全局优化难题，提升系统在复杂工况下的自适应能力与节能效率，适配大规模、多元化的节能控制需求^[5]。

4.2 系统集成与模块化解决方案

(1) 云边端协同的节能控制系统架构：构建“云端统筹-边缘计算-终端执行”的三级协同架构。云端负责全局数据存储、大数据分析 & 优化策略统筹；边缘节点承担实时数据处理、局部控制决策，降低数据传输延迟；终端设备执行控制指令并反馈运行状态。该架构兼顾全局优化与实时响应，解决传统集中式控制系统延迟高、可靠性差的问题，提升系统运行效率与稳定性。(2) 标准化接口与开放协议的推广：推动节能控制设备与系统间接口标准化，推广Modbus、OPCUA等开放通信协议的应用。打破不同厂商设备间的通信壁垒，实现多品牌、多类型设备的无缝对接与互联互通，降低系统集成难度与改造成本。同时，开放协议便于第三方机构参与技术创新与功能拓展，促进节能控制技术的规模化应用与产业协同发展。

4.3 政策与市场驱动下的技术落地路径

(1) 政府补贴与碳交易机制的影响：优化政府补贴政策，精准聚焦节能控制技术研发与示范项目，降低企

业初期投入成本；完善碳交易市场机制，将节能技术带来的碳减排量纳入碳资产核算，通过市场化手段激励企业主动采用先进节能技术。政府引导与市场调节相结合，构建“政策托底+市场激励”的双重驱动模式，加速节能技术的产业化落地。(2) 用户侧节能行为的激励机制设计：建立用户侧节能激励体系，通过阶梯电价、节能积分、现金返还等方式，引导工业用户、建筑用户主动优化用电行为。同时，搭建节能信息公示平台，实时展示用户节能成效，强化用户节能意识。通过激励机制调动用户参与积极性，形成“技术节能+行为节能”的协同模式，提升节能控制技术的综合应用效果。

结束语

综上所述，电气工程及其自动化领域中节能控制技术的应用研究意义非凡。通过对其在电力系统、工业生产、建筑设备等多方面的实践探索，我们见证了显著的节能成效，有力推动了行业绿色发展。然而，技术发展永无止境，未来仍需持续创新，攻克现有难题，提升节能控制技术的智能化与精准度。期待更多专业人士投身其中，让节能控制技术更好地服务于电气工程及其自动化，为全球节能减排与可持续发展贡献更大力量。

参考文献

- [1]张岩梅.智能化技术在电气工程自动化控制中的应用分析[J].中国设备工程,2022(06):40-41.
- [2]蒙柱业.论智能化技术在电气工程自动化控制中的运用[J].电子测试,2020(20):120-121.
- [3]刘勇.PLC技术在电气工程及其自动化控制中的应用[J].中国设备工程,2025,(01):227-229.
- [4]刘紫琪.电气工程自动化中智能化技术的应用[J].造纸装备及材料,2022,(10):94-96.
- [5]陈晶华,邓伟.电气自动化工程中的节能设计技术分析[J].电气技术与经济,2021,(04):72-74.