

电力技术中电力节能技术应用

袁 迎¹ 李 洋² 张国帅¹ 王 琪¹

1. 山东国华时代投资发展有限公司 山东 济南 250000

2. 中建八局第一建设有限公司 山东 济南 250000

摘 要：为提升电力系统能源利用效率、助力双碳目标落地，本文梳理电力节能技术核心理论与源网荷储各环节技术类型，结合发电、输配电、工业及民用建筑领域的实际应用场景，分析各类节能技术的应用成效。同时指出当前技术推广成本高、老旧设备改造滞后、节能管控智能化不足及用户节能意识薄弱等问题，并从技术、管理、推广多维度提出优化对策，为电力行业节能降碳、提质增效提供实践参考。

关键词：电力技术；电力节能技术；应用

引言：在能源转型与绿色低碳发展的大背景下，电力行业作为能耗核心领域，节能降耗是实现高质量发展的关键举措。电力系统发、输、配、用全流程存在诸多能效损耗问题，严重制约能源利用效率提升。为有效降低电力能耗、减少资源浪费，各类电力节能技术得到广泛应用。基于此，本文系统探究电力节能技术的理论基础、应用实践，剖析现存短板并制定优化方案，助力电力行业实现高效、绿色、智能化发展。

1 电力节能技术相关理论与核心类型

1.1 电力节能核心理论基础

(1) 电力系统能效损耗机理分析。损耗贯穿发、输、配、用各环节，发电侧为多级能量转换效率递减，输配电侧含线路电阻发热、变压器铁损铜损及电晕放电，用电侧为非额定工况附加损耗，为节能选型提供依据。(2) 电能梯级利用与能耗优化理论。依热力学品质分级，优质电供敏感设备，低品位电经变换用于加热照明等一般负荷，通过能级匹配减少交-直-交变换次数与开关损耗，实现“按质供应、梯级流转”的系统优化。(3) 全生命周期节能管控理论。统筹设备制造、运行至退役三阶段，协同初始能效设计、运行监测与维护期衰减补偿，避免单环节节能而全周期能耗升高的短视行为。

1.2 发电侧节能技术类型

(1) 火电机组高效节能改造技术。涵盖超超临界参数提升、汽轮机通流优化及锅炉排烟温度控制，通过提高初参数、降低冷端损失使供电煤耗逼近设计极限。(2) 新能源发电消纳与协同节能技术。依托多能互补调度与储能配置平抑风光出力波动，减少弃风弃光，提升清洁电量占比，间接降低化石能源消耗。(3) 发电

机组余热回收利用技术。回收锅炉排烟余热及循环冷却水低品位热能，用于凝结水预热或区域供热，实现热能梯级再利用^[1]。

1.3 输配电侧节能技术类型

(1) 电网网架优化节能技术。通过合理布局变电站、缩短供电半径、平衡三相负荷及推行经济电流密度选线，降低线损率，提升整体输电效率。(2) 低损耗变压器与新型导线应用技术。采用非晶合金铁心、高导磁取向硅钢片降低变压器空载损耗；推广碳纤维复合芯导线、耐热铝合金绞线，在同等载流量下有效降低电阻损耗。(3) 无功补偿与电能质量优化节能技术。通过静止无功发生器、并联电容器及有源滤波装置实现无功就地平衡，减少无功电流在线路上的有功损耗，同时抑制谐波与电压闪变，避免劣质电能引起附加发热。

1.4 用电侧终端节能技术类型

(1) 工业设备变频调速节能技术。针对风机、水泵、压缩机等变负荷设备，采用变频调速取代阀门挡板节流控制，使电机输出功率随负载自适应调节，节电率可达 20%~40%。(2) 智能照明与建筑电气节能技术。基于 LED 光源、照度传感器及人员感应实现按需照明与自然光补偿；建筑电气方面推广高效空调系统、能量回馈电梯及智能化能源管理系统，降低建筑综合能耗。(3) 用户侧负荷调控与错峰用电技术。通过需求响应、分时电价激励及智能终端控制，引导用户将高峰负荷平移至低谷时段，提升电网负荷率，减少高峰备用机组投运带来的额外煤耗。

2 电力技术中电力节能技术的具体应用实践

2.1 发电领域节能技术应用

(1) 火电厂机组低真空运行节能改造应用。在冬季

供热期或环境温度较低条件下,适当降低凝汽器真空度,提高排汽压力与温度,使循环冷却水吸收更多排汽潜热用于城市集中供热。该改造利用低品位热能替代部分供热抽汽,减少汽轮机热力循环冷源损失,供热期供电煤耗可下降 3~8g/kWh。实施时需同步调整循环水泵运行方式与冷却塔配水工况,确保机组在低真空区间安全稳定运行^[2]。(2)风光储协同发电节能调度应用方案。依托风电场、光伏电站与储能系统联合调度平台,根据超短期功率预测结果动态调整储能充放电策略——风速骤降时由储能快速补足出力缺口,光照过强时储能吸纳富余电量避免弃光。通过协同调度平滑总出力曲线,减少火电备用旋转容量,同等负荷需求下降化石能源消耗,提升新能源电量占比。(3)发电设备智能运维降能耗应用实践。部署振动监测、红外热成像及油液分析传感器网络,结合机器学习算法对汽轮机、锅炉辅机等关键设备实施状态评估与故障早期预警。通过精准安排检修时机避免过度检修造成的启停机能耗浪费,同时优化燃烧配风参数使炉膛效率提升,年综合节煤率约为 1.5%~2%。

2.2 输配电系统节能技术应用

(1)配电网结构优化与线路损耗治理应用。针对 10kV 及以下配电网普遍存在的高线损问题,采取“小容量、密布点、短半径”原则重新规划台区布局,更换线径偏小、老化严重的架空线路,同步实施三相负荷不平衡自动调平。某地区实践表明,综合线损率可由 7.2%降至 5.1%左右。(2)动态无功补偿装置的工程应用。在重工业负荷集中区域及长距离配电线路末端安装晶闸管投切电容器或静止无功发生器,依据实时无功功率需求快速调节补偿容量,使功率因数稳定在 0.95 以上。此举可降低线路传输电流约 8%~12%,相应减少有功损耗,同时改善末端电压质量。(3)智能电网监测系统助力节能降耗应用。基于配电自动化主站与智能量测终端,实现对各级馈线损耗的实时在线监测与分段统计分析,自动辨识高损时段及高损区段,为降损措施制定提供精准数据支撑,变被动管理为主动治理。

2.3 工业用电节能技术应用

(1)工业风机、水泵变频节能改造应用。针对额定功率在 100kW 以上的大型离心风机与循环水泵,将传统液力耦合器或入口导叶调节升级为高压变频调速,根据工艺流程需求自动调整转速。实际运行表明,负荷率低于 80%时,变频改造节电率普遍达到 25%~35%,投资回收期约为 1.5~2.5 年。(2)工厂配电系统节能优化与负荷调配应用。通过对车间级配电系统进行电能质量普查,识别高损变压器及大功率冲击性负载,重新规划变压器容量匹配与运行方式,推行错峰开机与集中生产方

式,减少变压器空载损耗及线路尖峰电流损失^[3]。(3)工业余热余压回收发电技术应用。在水泥窑头、高炉炉顶、焦化荒煤气等高温高压尾气环节加装余热锅炉及小型汽轮发电机组,将原本直接排空的低品位热能转化为电能,实现企业内部“自发自用、余电上网”。

2.4 民用与建筑电力节能技术应用

(1)建筑智能电气控制系统节能应用。采用建筑设备自动化管理系统对空调冷热源、新风机组、给排水泵及电梯实施集中监控与优化调度,根据室内外温湿度、二氧化碳浓度及人流密度自动调节设备运行台数与输出功率,实现能源按需供给。(2)高效节能电气设备替代应用方案。针对老旧建筑配电系统,将能效等级为 3 级及以下的电机、变压器、空调机组分批更换为 GB18613 一级能效产品,配套加装电能监测插座,实时显示单机能耗,便于识别高耗能设备并优先淘汰。(3)分布式光伏民用并网节能应用。利用住宅及公共建筑屋顶闲置面积建设中小型分布式光伏系统,采用“自发自用、余量上网”模式接入配电网,直接抵消建筑日常照明、电梯、水泵等基础电耗。典型户用 3~5kW 系统年均发电量约 3000~5500kWh,可满足一般家庭全年用电需求的 30%~50%,有效降低建筑从电网购入的有功电量^[4]。

3 电力技术中电力节能技术应用问题与优化对策

3.1 电力节能技术应用现存问题

(1)节能技术推广成本高、落地难度大。高效变频器、非晶合金变压器、储能系统等先进节能设备初始投资额度较大,中小企业受制于资金压力与技术人才匮乏,往往倾向于维持现状。同时,部分节能技术对工况条件要求苛刻,存在“实验室效果好、现场效果差”的尴尬局面,导致技术转让与工程实施的衔接成本进一步增加。(2)部分老旧电力设备节能改造滞后。在冶金、化工、建材等行业,仍有大量服役超过 15 年的老旧电机、变压器及配电柜处于运行状态,其能效水平远低于现行国家标准。受制于生产连续性要求与改造窗口期短暂,企业往往采取“坏一台换一台”的被动策略,主动节能改造意愿不足,导致存量高能耗设备长期带病运行。(3)节能管控体系不完善、智能化程度不足。许多用能单位尚未建立完善的能耗统计、审计与考核体系,能耗数据分散于不同部门,缺乏统一的能效分析平台。已部署的监测系统多为“只监不控”模式,无法根据负荷变化自动给出节能调控指令,智能化闭环管理水平远低于预期。(4)用户节能意识薄弱,需求侧节能利用率低。居民及中小商业用户对分时电价、需量管理等节能政策了解甚少,大量可中断、可转移负荷未参与电网互动调节。部分用户认为节能改造“得不偿失”或“效果

不明显”，导致需求响应资源长期闲置，需求侧节能潜力挖掘严重不足。

3.2 技术层面优化改进对策

(1) 加快新型低成本节能技术研发与迭代。重点攻关高效率电力电子器件、低能耗非晶合金材料及高性能永磁调速装置等关键技术，通过核心元器件国产化替代降低成套设备成本。同时，鼓励节能技术模块化、标准化设计，缩短现场适配周期，降低工程实施门槛与改造成本。(2) 推进老旧电力设备智能化节能改造升级。针对在役老旧变压器、电动机等设备，采用绕组绝缘状态评估与剩余寿命预测技术，筛选具备改造价值的设备实施替换性升级，同步加装智能控制终端与能耗感知模块，使其具备远程监控、自动优化运行参数的能力，实现从“被动更换”向“主动升级”的转变。(3) 构建多技术融合的综合节能体系。打破“单项技术单点节能”的传统模式，将变频调速、无功补偿、谐波治理、余热回收及储能调控等技术进行系统集成，按不同工况组合投用，形成覆盖源网荷储全链条的综合节能解决方案，提升整体能效水平。

3.3 管理与制度层面优化对策

(1) 完善电力节能监督与考核管理制度。建立覆盖省、市、县三级的能耗在线监管体系，定期公布重点用能单位能耗限额对标结果，将节能目标完成情况纳入企业年度综合评价体系，形成刚性约束与正向激励并重的管理格局。(2) 搭建智能化电力能耗监测与调控平台。依托物联网、云计算与数字孪生技术，构建统一能效管理平台，实时采集电、热、气等多维度能耗数据，自动生成节能诊断报告并推送优化建议，同时具备远程调控与自动响应功能，打通“监测—分析—控制”的节能闭环^[5]。(3) 健全节能技术推广扶持与激励政策。设立节能技术改造专项补贴基金，对采用高效节能设备的企业给予初始投资比例补贴，完善合同能源管理模式下的税收优惠与融资担保机制，降低节能服务公司的项目风险，调动社会资本参与节能改造的积极性。

3.4 应用推广层面优化对策

(1) 分领域、分场景精准推广节能技术。针对发电、输配电、工业及建筑等不同领域，分别编制适用技

术目录与典型应用案例库，明确各技术的适用范围、投资回收期及预期节能量，使用户能够根据自身工况“按图索骥”选择适配方案，提高技术推广的精准度与成功率。(2) 强化政企协同，推进节能项目落地。建立地方政府、电网企业与节能服务公司三方联动机制，在项目审批、并网接入及电价结算等环节开辟绿色通道，通过示范标杆效应带动周边企业跟进，形成“以点带面、由面成片”的推广应用格局，加速节能技术从试点走向普及。(3) 加强节能宣传，提升用户侧节能参与度。利用新媒体平台定期推送节能科普内容与实时节电收益案例，鼓励社区开展家庭能耗诊断公益活动，对主动参与错峰用电和需求响应的用户给予电费抵扣奖励，将节能行为转化为可感知的经济收益，营造全民主动参与节能的良好社会氛围。

结束语

综上所述，电力节能技术覆盖电力系统全运行环节，各类技术在不同场景的落地应用，可有效降低电力损耗、提升能源利用率。当前行业仍存在技术推广、设备改造、管控体系等多方面问题，制约节能工作提质增效。未来需持续迭代节能技术、完善管理制度、拓宽推广渠道、强化全民节能意识，构建全链条节能体系，充分挖掘电力节能潜力，推动电力行业绿色低碳转型与可持续发展。

参考文献

- [1] 岳兴鹏, 李杰. 电气节能技术在工业自动化中的应用实践 [J]. 中国设备工程, 2025, 22(18): 176-178.
- [2] 胡友伟, 宋奇东. 火电机组单列汽泵基于回滞函数控制逻辑优化的深度节能策略 [J]. 电工技术, 2026, 27(03): 212-215.
- [3] 杨瑞峰, 韩瑜. 基于改进深度强化学习算法的电网侧储能系统调峰节能控制策略 [J]. 储能科学与技术, 2025, 14(07): 121-125.
- [4] 李庚. 配电网新型非晶合金变压器节能技术推广应用研究 [J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(07): 96-102.
- [5] 张敏敏, 刘勇军. 电气控制中的节能技术应用 [J]. 电气技术, 2025, 34(01): 148-151.