

双碳目标下电气设备节能改造与能效管理系统开发

张长昊

河北工业职业技术大学 河北保定 071599

摘要: 在“双碳”目标驱动下,能源结构转型与节能减排成为各行业发展的核心命题。电气设备作为能源消耗的重要载体,其节能改造与能效提升关乎目标实现进程。通过高效电机替换、电机调速技术应用等对电机系统升级,实施变压器节能改造、电网无功补偿优化配电系统,推进LED照明改造与智能照明控制升级照明系统,可显著降低电气设备能耗。同时,基于感知层、网络层、应用层架构开发能效管理系统,借助数据采集、存储、分析及功能模块实现,能精准监测设备能耗状态,提供节能优化策略。二者协同,为各领域能源高效利用、绿色低碳发展筑牢技术根基,助力“双碳”目标稳步达成。

关键词: 双碳目标;电气设备;节能改造;能效管理系统;智能调控

引言

随着全球气候变暖问题加剧,极端天气频繁出现,这些现象对我国的生产生活造成巨大影响,双碳目标已成为我国推进可持续发展的核心战略举措。在工业生产、商业运营和居民生活等诸多场景中,电气设备的广泛应用带来了庞大的能源消耗,其能耗在全社会总能耗中占据相当高的比例。传统电气设备普遍存在能效低、损耗大等问题,不仅造成能源浪费,也对环境带来较大压力。因此,迫切需要探索电气设备节能改造技术,从电机系统、配电系统、照明系统等关键环节入手,降低设备运行能耗。同时,结合物联网、大数据等信息技术开发能效管理系统,对电气设备能耗进行精细化管理,实现能源的动态监测与智能调控,这对推进“双碳”目标落地、构建绿色低碳发展模式具有深远意义。

一、电气设备节能改造技术方法

(一) 电机系统节能改造

1、高效电机替换

低效电机因设计工艺落后、材料性能不足,普遍存在能效低、能耗高的问题。以YE2系列普通电机为例,其满载效率通常低于90%,在长期连续运行中,大量电能转化为热能损耗。相比之下,高效电机如YE4系列,采用高导磁低损耗硅钢片与优化磁路设计,效率可提升

至93%以上。选型时需综合电机额定功率、转速、工作制等参数,依据《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级》标准,优先选择2级及以上能效产品。替换流程需分步推进:首先对现有电机负载特性进行测试,确定实际运行工况;其次依据测试数据,精准匹配高效电机型号;最后在断电停机后,完成电机本体、联轴器及控制系统的更换调试。某纺织企业将车间100台低效电机替换为高效电机后,经实测统计,年节电量达80万度,电费支出降低15%,同时电机维护成本减少30%,节能降本效果显著。

2、电机调速技术应用

变频调速技术通过改变电机输入电源频率,实现电机转速与负载需求精准匹配。以水泵电机为例,传统工频运行时,常通过调节阀门控制流量,造成大量能量损耗;采用变频器后,可根据实际用水量动态调整转速,节能率可达20%~40%。永磁调速技术则利用永磁体与导体盘间的磁场耦合传递扭矩,通过调节气隙大小实现转速调节,具备无机械接触、维护量小的优势。某钢铁企业的风机系统应用永磁调速装置后,根据生产工艺需求灵活调节风机转速,避免“大马拉小车”现象,年节电率达28%,设备故障率降低25%。两种调速技术均能显著提升电机运行效率,减少能源浪费,在工业领域具有广泛的应用前景。

(二) 配电系统优化

1、变压器节能改造

高损耗变压器如S7、S9系列,因铁芯材质磁导率低、绕组电阻大,空载损耗与负载损耗均高于现行标准。以

作者简介: 张长昊,男,汉族,2004-02,河北高阳人,河北工业职业技术大学,本科在读。研究方向:主要从事电气工程及其自动化专业领域的学习和技术研究。

1000kVA的S7型变压器为例,其空载损耗达1.7kW,负载损耗达10.3kW。节能型变压器如SCB10系列干式变压器,采用非晶合金铁芯与铜绕组,空载损耗较传统变压器降低70%~80%。在淘汰高损耗变压器时,需根据企业用电负荷特性、负载率及扩容需求,科学选择变压器容量与类型。调整变压器经济运行方式可进一步降低损耗。通过监测负荷曲线,合理配置多台变压器并列运行,避免单台变压器长期轻载或过载;同时采用有载调压装置,自动调节输出电压,确保变压器运行在高效区间。某工业园区更换高损耗变压器并优化运行方式后,配电系统综合损耗降低18%。

2、电网无功补偿

无功补偿装置分为并联电容器、静止无功发生器(SVG)等类型。并联电容器通过向电网注入容性无功功率,抵消感性负载消耗的无功,提升功率因数;SVG则采用全控型电力电子器件,可快速动态补偿无功,响应速度达ms级。配置时需根据电网负载特性,在低压侧集中补偿与高压侧分散补偿间灵活选择,优先在无功负荷附近就地补偿。某机械制造企业在配电系统中安装SVG装置后,功率因数从0.75提升至0.95,减少线路无功电流30%,线损率降低4.2%,同时避免因功率因数不达标产生的电费罚款,年节约成本超50万元。

(三) 照明系统节能升级

1、LED照明改造

传统荧光灯存在光效低(约60lm/W)、寿命短(10000小时)、含汞污染等问题,而LED灯具光效可达120~150lm/W,寿命长达50000小时以上,且无频闪、显色性高。选型时需关注灯具光通量、色温、显色指数等参数,根据使用场景选择合适的配光曲线。如办公场所宜选4000K色温、 $Ra \geq 80$ 的LED面板灯;仓库则需高亮度、广角度的LED工矿灯。改造方案采用“分区域、分批次”策略:先拆除老旧灯具及镇流器,更换适配的LED光源;再优化照明线路,减少冗余布线。某商业综合体完成LED照明改造后,照明能耗降低60%,维护频率从每月1次降至每年2次。

2、智能照明控制

智能照明控制系统通过传感器(如光照、人体感应)采集环境数据,结合预设逻辑自动调节照明亮度。例如,教室安装的智能照明系统,可根据室外光线强度自动调节灯具亮度,课间无人时自动降低照度;会议室则通过红外感应,在人员进入时开启照明,会议结束后延时关闭。系统通常采用Zigbee、LoRa等无线通信技术

实现设备联网,通过中央控制器进行统一管理。某医院住院楼实施智能照明改造后,照明能耗同比下降45%,同时提升了患者的照明舒适度与医护人员的工作效率。

二、能效管理系统开发策略

(一) 系统架构设计

1、感知层设计

感知层作为系统数据采集的基础,需针对电气设备特性精准部署传感器。对于电机系统,选用霍尔电流传感器与温度传感器,分别安装于电机输入线路与外壳表面,实时采集电流、电压及温度数据;在变压器监测中,采用油中溶解气体传感器与绕组光纤测温装置,获取绝缘状态与温度变化信息。照明系统则部署智能电表与光照传感器,监测耗电量及环境光照强度。传感器选型需兼顾精度与稳定性,如电流传感器精度应达0.5级以上,确保数据可靠。通过合理布局,实现对设备能耗、运行状态的全方位感知,为后续分析提供原始数据支撑。

2、网络层构建

网络层承担数据传输重任,需根据应用场景选择适配的通信技术。对于厂区范围大、设备分散的场景,LoRa技术凭借低功耗、广覆盖特性,可实现千米级信号传输,适用于车间外设备的数据回传;而车间内部设备则采用工业以太网,其高带宽、低延迟优势能保障大量实时数据快速传输。在5G技术应用方面,利用其高速度、低时延特性,可实现远程设备的实时监控与控制,如通过5G网络远程调节变频器参数。此外,采用边缘计算技术,在靠近设备端对数据进行预处理,减少核心网络传输压力,保障数据传输的稳定性与及时性。

3、应用层开发

应用层基于模块化架构构建用户交互界面,采用简洁直观的设计理念,通过数据可视化技术直观呈现能耗分布热力图、设备运行状态看板等核心信息。其功能模块包含:1)动态监测模块,以实时曲线与柱状图直观反映设备能耗动态;2)智能分析模块,集成同比/环比分析、能效基准对比等多维度统计功能;3)风险预警模块,支持阈值自定义配置,实现电流过载、温度异常等场景的实时告警推送(含弹窗提示、短信通知);4)决策优化模块,基于历史数据与智能算法构建决策支持模型,可生成变压器负荷优化、设备启停策略等专项建议。各模块协同运作,形成“监测-分析-预警-优化”的闭环管理体系,显著提升用户侧能源管理精细化水平。

(二) 数据处理与分析

1、数据采集与存储

需建立分级采集机制保障数据时效性与质量。针对电机电流等动态参数设置1秒级高频采样,针对变压器油温等稳态参数采用5分钟级低频采集。存储架构采用InfluxDB时序数据库,利用其时间戳索引特性提升存储效率。构建数据清洗流水线,通过CRC校验、箱线图检测等算法过滤噪声数据,确保分析源数据质量。为平衡存储成本与访问性能,实施分级存储策略:近30天数据存放于SSD介质,历史数据自动归档至对象存储服务,通过智能缓存机制保障高频查询响应速度。

2、智能分析模型构建

基于AI技术建立多模态分析体系:1)能耗预测模块采用双向LSTM网络,融合气象数据、生产排程等特征变量,实现未来24小时能耗滚动预测,平均绝对误差低于8%;2)能效评估模块构建设备能效基准库,通过对比测试与DEA数据包络分析,生成能效星级评价报告;3)故障诊断模块基于改进CNN架构,对设备振动频谱、电流谐波进行特征提取,建立轴承故障、绝缘劣化等12类典型缺陷识别模型,诊断置信度超过85%。各模型通过联邦学习框架实现协同训练,构建覆盖预测-评估-诊断的智能分析闭环。

(三)系统功能实现

1、实时监测与预警

系统通过多屏联动实现设备运行状态的实时监测,在中央监控大屏展示全厂设备能耗热力图,在PC端与移动端提供详细设备参数查询。预警功能采用分级管理机制,将异常分为一般、严重、紧急三个等级。例如,当电机温度超过80℃时触发一般预警,通过系统消息提示;温度超过90℃时升级为严重预警,除消息提示外,同步推送短信通知负责人;若温度持续上升至95℃,则触发紧急预警,自动切断设备电源,并启动应急预案。同时,系统支持预警阈值的动态调整,用户可根据设备运行情况灵活设置,确保预警的及时性与准确性。

2、节能优化控制

节能优化控制模块依据数据分析结果,实现设备运行参数的智能调节。对于电机系统,当检测到负载率低于30%时,系统自动触发变频调速策略,降低电机转速;针对变压器,通过负载均衡算法,动态调整多台变压器的负荷分配,避免轻载运行。用户也可通过手动干预模式,在系统界面直接修改设备控制参数。以某化工企业为例,通过该系统的节能优化控制,电机系统综合能耗降低18%,变压器损耗减少12%,实现了显著的节能增效。

3、报表生成与展示

系统构建多维度报表生成引擎,适配多样化管理场景。按日/月维度自动生成标准化能耗报表:日报表通过车间级能耗柱状图实现横向对标,月报表采用趋势折线图量化节能效益。能效分析模块集成行业基准数据库,自动生成设备能效评分报告并提出优化建议。可视化界面支持交互式数据探索,用户可通过多维度钻取、动态筛选等功能实现数据洞察,同时提供标准化导出接口(Excel/PDF)满足归档需求。通过可视化图表与结构化数据的有机融合,为管理层提供直观的能源管理决策支持。

结束语

电气设备节能改造与能效管理系统协同构建了“双碳”目标落地的技术双轮。节能改造通过设备能效提升实现源头减碳,能效管理系统则依托数据驱动实现过程控碳,二者形成“技术-管理”闭环,共同驱动能源利用方式向清洁化、智慧化转型。伴随数字孪生、边缘计算等技术的融合创新,节能改造将向全生命周期优化演进,能效管理系统也将实现预测精度提升与决策智能化突破。未来需建立跨行业协同创新机制,通过标准体系构建、示范工程推广,加速节能技术产业化进程,使绿色低碳转型理念深度融入产业发展基因,为经济社会全面绿色转型注入强劲动能。

参考文献

- [1]陈浩波,舒杰,匡耀求,等.双碳目标下电能替代宏观能效综合评价方法[J].热科学与技术,2024,23(2):198-208.
- [2]蒋思,方斯频.面向双碳目标的物流中心微电网能效管理研究综述[J].上海交通大学学报,2023,57(7):769-780.
- [3]李锋,刘宇明,李彦圣,等.基于“双碳”目标的售电企业节能改造服务策略研究[J].电气应用,2024,43(3):78-81.
- [4]肖彦,常立强,李战赠.城市更新背景下酒店建筑绿色低碳改造电气策略研究[J].智能建筑电气技术,2024,18(2):104-108.
- [5]黄湘琼,赖敏绫,崔文君,等.“双碳”背景下既有建筑绿色节能改造实践[J].中国设备工程,2024(21):256-258.
- [6]裴元杰,樊金龙,欧阳东,等.双碳智慧园区高效节能新型设备应用探讨[J].建筑节能(中英文),2024,52(10):122-129.