

# 工业电气工程中的节能降耗技术研究

王超

宁夏晟蓝工程咨询有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要:** 工业电气工程作为能源消耗大户,节能降耗意义重大。当前钢铁、化工、制造业等典型场景用电模式各异,存在供电系统损耗大、设备运行效率低、工艺流程冗余等问题,且面临设备老化、能源管理粗放、新能源利用率低等现状。本文深入探讨了供电系统优化、设备节能、智能控制与管理、新能源与储能等关键节能降耗技术,分析了技术推广在初期投资、适配性及管理层面面临的挑战,并提出政策支持、技术创新、人才培养等针对性对策,助力工业电气工程实现绿色可持续发展。

**关键词:** 工业电气工程;节能降耗;关键技术;挑战与对策

引言:在工业领域,电气工程是生产运营的核心支撑,却也是能源消耗与碳排放的“大户”。随着全球能源危机加剧与环保要求提升,工业电气工程节能降耗迫在眉睫。一方面,传统高耗能模式使企业面临成本攀升压力;另一方面,不符合节能标准将影响企业可持续发展与社会环境效益。在此背景下,深入研究工业电气工程节能降耗技术,挖掘节能潜力、提升能源利用效率,不仅有助于企业降低运营成本、增强竞争力,更是推动工业绿色转型、实现碳达峰碳中和目标的关键举措。

## 1 工业电气工程能耗现状与问题分析

### 1.1 典型工业场景能耗特征

钢铁、化工、制造业等高耗能行业用电模式具有显著共性与差异。钢铁行业在炼铁、炼钢环节需持续高强度用电,高炉冶炼、连铸连轧设备长期处于高负荷运行状态,用电高峰集中在生产旺季,且昼夜用电波动较小;化工行业因反应过程需精准控温、控压,各类反应釜、压缩机用电呈现连续性强、负荷稳定的特点,但部分间歇式生产工艺会导致用电负荷短期骤升骤降;制造业中,汽车制造、机械加工等领域依赖大量机床、流水线设备,用电负荷随生产班次变化明显,存在白天高、夜间低的周期性波动,且设备启停过程中易产生瞬时高能耗。

### 1.2 主要能耗环节分析

(1) 供电系统损耗:变压器运行中因铁芯损耗、绕组铜损,尤其老旧变压器损耗率可达5%-8%,远超新型节能变压器2%-3%的标准;线路损耗则因部分厂区线路敷设年限久、线径偏小,加之负荷分布不均,输电过程中电能损耗占比可达总用电量的3%-5%。(2) 设备运行效率:电机方面,大量老旧异步电机效率比高效电机低10%-15%,且常处于轻载运行状态,能效进一步降

低;照明系统仍有部分使用传统白炽灯、荧光灯,能耗是LED灯的3-5倍;空调系统多为定频设备,无法根据室内温度动态调节功率,造成能源浪费。(3) 工艺流程冗余:部分企业生产流程设计不合理,如设备待机时未切断电源,导致每日待机能耗占总能耗的5%-8%;化工生产中部分物料重复加热,额外增加10%-15%的能耗<sup>[1]</sup>。

### 1.3 现有问题总结

(1) 设备老化与技术落后:多数高耗能企业仍在使

用5年以上的老旧电气设备,部分设备超期服役,不仅能耗高,还存在安全隐患;且未及时引入变频技术、余热回收技术等节能技术,能源利用效率偏低。(2) 能源管理粗放,缺乏智能化监控:企业能源管理多依赖人工记录,数据采集不及时、不准确,无法实时掌握各环节能耗情况;未建立智能化能源监控系统,难以精准分析能耗异常原因,无法制定针对性节能措施。(3) 新能源利用率低,依赖传统化石能源:工业用电仍以煤炭、天然气等传统化石能源发电为主,太阳能、风能等新能源在工业供电中的占比不足5%,未充分利用清洁能源降低能耗与碳排放。

## 2 工业电气工程中的节能降耗关键技术

### 2.1 供电系统优化技术

(1) 高效变压器选型与无功补偿技术:在变压器选型上,推广使用S13及以上能效等级的节能变压器,其空载损耗较传统S9系列降低30%-50%,负载损耗降低15%-20%,同时结合企业实际负荷情况,采用“小容量、多台数”的配置方式,避免单台变压器长期低负载运行;无功补偿技术方面,采用动态无功补偿装置(SVG)与静态无功补偿装置(SVC)结合的方式,针对用电负荷波动大的场景,实时补偿无功功率,将功率因数提升至0.95以上,减少因无功损耗导致的电能浪费,降低线路损耗

率5%-8%。(2)分布式发电与微电网技术:在工业厂区屋顶、闲置场地建设分布式光伏电站,结合厂区用电负荷特性,实现光伏发电就近消纳,减少外购电能;对于具备风能资源的地区,可配套建设小型风电场,与光伏系统组成风光互补发电系统。同时,构建微电网系统,通过能量管理系统(EMS)协调分布式电源、储能设备与负荷之间的能量分配,在电网供电不稳定时,保障关键生产设备的连续供电,提高能源供应可靠性,降低对大电网的依赖,部分企业可实现新能源供电占比达15%-25%<sup>[2]</sup>。(3)谐波抑制与电能质量提升技术:采用有源电力滤波器(APF)与无源电力滤波器(PPF)组合的方式,抑制工业设备(如变频器、电弧炉)产生的谐波,将谐波畸变率控制在5%以内,避免谐波对变压器、电机等设备的损害,延长设备使用寿命,同时减少因谐波导致的额外能耗;此外,安装电压暂降治理装置,缓解电网电压波动对生产设备的影响,降低因设备启停、故障重启造成的能耗损失,提升整体电能利用效率。

## 2.2 设备节能技术

(1)高效电机与变频调速技术:逐步淘汰低效老旧电机,更换为IE3及以上能效等级的高效电机,其效率比传统电机高3-5个百分点,单台电机年节电可达数千千瓦时;同时,对风机、水泵、压缩机等负载波动较大的设备,加装变频调速装置,通过调节电机转速匹配负载需求,避免“大马拉小车”现象,节能率可达20%-40%,尤其在钢铁、化工行业的循环水系统中应用效果显著。

(2)智能照明系统:将传统荧光灯、高压钠灯更换为LED节能灯具,其能耗仅为传统灯具的1/3-1/2,寿命延长3-5倍,且光效更高、显色性更好;同时,配套安装人体感应传感器、光照度传感器与智能控制器,实现“人来灯亮、人走灯灭”,并根据自然光强度自动调节灯具亮度,避免过度照明,在车间、仓库等场所可实现节能率30%-50%,且降低维护成本<sup>[3]</sup>。(3)余热回收与能源梯级利用技术:针对钢铁、化工行业产生的高温烟气、废水等余热资源,采用余热锅炉、余热发电装置、换热器等设备进行回收利用。例如,钢铁行业利用高炉煤气余热发电,可满足厂区10%-20%的用电需求;化工行业通过换热器回收反应过程中的余热,用于预热原料或提供生活用热,减少蒸汽消耗;此外,推行能源梯级利用模式,将高品位能源用于高温工艺,低品位余热用于供暖、制冷或预热,实现能源的最大化利用,整体节能率可达15%-25%。

## 2.3 智能控制与管理技术

(1)工业物联网(IIoT)能耗监测平台:通过在变

压器、电机、生产设备等关键节点安装智能传感器、智能电表、数据采集器,实时采集电压、电流、功率、能耗、设备运行状态等数据,借助5G、LoRa等通信技术传输至云端平台;平台具备数据存储、实时监控、趋势分析、异常报警等功能,管理人员可通过电脑、手机端实时查看各环节能耗情况,精准定位能耗浪费点,为节能改造提供数据支撑,可使能源管理效率提升30%-40%。

(2)基于大数据的能源调度优化算法:利用大数据技术对历史能耗数据、生产计划数据、电网电价数据、新能源发电数据进行分析挖掘,构建能源调度优化模型。模型可根据生产负荷变化、电价峰谷差异、新能源发电预测,自动优化电能采购计划、分布式电源出力、储能设备充放电策略,实现“错峰用电、新能源优先消纳”,降低用电成本。例如,在电价高峰时段减少外购电,优先使用光伏、储能供电;在电价低谷时段储存电能,用于高峰时段,可降低电费支出10%-20%,同时提高新能源消纳率<sup>[4]</sup>。(3)人工智能在预测性维护中的应用:基于人工智能算法(如神经网络、支持向量机),对设备运行数据(振动、温度、电流、噪音等)进行分析,建立设备故障预测模型,提前识别设备潜在故障风险(如电机轴承磨损、变压器绝缘老化),并发出预警信号,指导维护人员进行预防性维护,避免设备突发故障导致的停产损失与额外能耗。实践表明,预测性维护可使设备故障率降低30%-50%,延长设备使用寿命10%-20%,同时减少因故障维修造成的能源浪费。

## 2.4 新能源与储能技术

(1)工业场景中的光伏/储能系统集成:在工业厂区大规模推广分布式光伏与储能系统一体化建设,光伏系统为厂区提供清洁电能,储能系统(如锂电池储能、液流电池储能)用于储存光伏多余电能或在电网断电时作为备用电源。通过能量管理系统协调光伏与储能的运行,在白天光伏出力充足时,优先使用光伏电能,多余电能存入储能系统;在夜间或光伏出力不足时,释放储能电能,保障生产用电稳定,可使新能源消纳率提升至80%以上,减少外购电依赖,部分企业可实现“零碳车间”。(2)氢能、生物质能等清洁能源替代方案:在钢铁、化工等行业探索氢能替代方案,利用可再生能源电解水制氢,替代传统化石燃料用于高炉炼铁、化工原料合成,减少碳排放与化石能源消耗;例如,钢铁行业采用氢能竖炉炼铁技术,可实现吨钢碳排放降低30%-50%。同时,在食品加工、造纸等产生有机废弃物的行业,推广生物质能利用,将秸秆、废渣等废弃物通过厌氧发酵产生沼气,用于发电、供热或作为工业燃料,替

代天然气、煤炭,实现废弃物资源化利用,降低能源成本,部分企业可实现生物质能供能占比达10%-15%。

### 3 工业电气工程中节能降耗技术推广的挑战与对策

#### 3.1 技术层面挑战

(1) 初期投资成本高,回报周期长:节能降耗技术如分布式光伏、储能系统、智能监测平台等,初期设备采购与安装成本较高。以中小型制造企业为例,一套完整的工业物联网能耗监测平台投资约50-100万元,分布式光伏电站每兆瓦投资超300万元,而技术带来的节能收益年均仅占投资的10%-15%,导致投资回报周期普遍长达5-8年,超出多数企业的短期盈利预期,降低了企业引入技术的积极性。(2) 技术适配性差:大量工业企业仍在使用服役超10年的老旧电气设备,这些设备设计标准低、接口不统一,与新型节能技术适配难度大。例如,为老旧电机加装变频调速装置时,需额外改造电机控制系统,部分设备甚至因硬件老化无法兼容,改造成功率仅60%-70%;且不同行业生产工艺差异大,通用节能技术难以直接套用,需定制化开发,进一步增加了技术推广难度。

#### 3.2 管理层面挑战

(1) 企业节能意识不足,缺乏激励机制:多数企业管理者更关注生产效率与短期经济效益,对节能降耗技术的长期价值认知不足,将节能投入视为额外成本。同时,企业内部未建立节能考核与奖励机制,员工参与节能改造的积极性低,导致技术推广缺乏内部动力,部分已安装的节能设备也因操作不当未发挥最佳效果。(2) 能源管理标准不统一,数据孤岛问题:目前工业领域尚未形成统一的能源管理标准,不同企业的能耗统计口径、监测指标差异大,数据缺乏可比性。此外,企业内部各部门的能耗数据分散存储于不同系统,如生产部门的设备运行数据、财务部门的电费数据无法互通,形成“数据孤岛”,导致无法进行整体能耗分析与优化,制约了节能技术的规模化推广。

#### 3.3 对策建议

(1) 政策支持:税收优惠、补贴、绿色信贷:政府可出台针对性政策,对采用节能技术的企业给予增值税减免、企业所得税抵免等税收优惠;设立专项补贴资

金,对分布式光伏、储能系统等技术按投资比例给予20%-30%的补贴;鼓励金融机构推出绿色信贷,降低节能项目贷款利率,将还款周期延长至10年以上,缓解企业资金压力。(2) 技术创新:模块化节能解决方案、轻量化AI模型:研发模块化节能设备,如可灵活适配不同老旧电机的通用变频模块,降低改造难度与成本;开发轻量化AI预测性维护模型,简化算法架构,降低对硬件的要求,使中小型企业无需高额投入即可部署,同时提高技术的普适性与易用性<sup>[5]</sup>。(3) 人才培养:加强工业电气工程师节能技术培训:联合高校、行业协会与企业开展专项培训,内容涵盖节能技术原理、设备操作、数据分析等,每年培训不少于2000名工业电气工程师;建立节能技术人才认证体系,将节能技术应用能力纳入工程师考核指标,提升行业整体技术水平,为技术推广提供人才支撑。

#### 结束语

工业电气工程节能降耗研究意义深远且任务紧迫。通过对供电系统、设备运行、智能管控及新能源应用等多方面关键技术的探索,我们找到了众多可行路径。然而,技术推广并非一帆风顺,初期投资、适配难题以及管理短板等挑战横亘在前。但只要政府加大政策扶持,企业积极投入技术创新,行业重视人才培养,形成多方合力,定能突破困境。相信在未来,工业电气工程将凭借成熟的节能降耗技术,实现高效、绿色、可持续发展,为全球能源节约与环境保护贡献重要力量。

#### 参考文献

- [1]房晶.电气自动化工程中的节能设计研究[J].光源与照明,2024(04):216-218.
- [2]李正廷.电气自动化节能技术探析[J].内江科技,2024,45(03):36-37.
- [3]韦文杰.互联网背景下的电气自动化技术应用中的节能设计研究[J].模具制造,2024,24(03):188-190.
- [4]余梁良.建筑电气自动化中节能技术应用分析[J].住宅与房地产,2024(04):105-107.
- [5]张存柱.发电厂中的电气设备节能措施分析[J].电子技术,2023,52(02):276-277.