

机电设备节能改造技术及其应用效果分析

屈晓

四川亿胜建设集团有限公司，四川省宜宾市，644000；

摘要：机电设备作为工业系统中最基础的能耗单元，其运行效率直接影响企业整体能耗水平与运营成本。针对当前大量在役设备存在能效低、调控不灵、运行方式粗放等问题，节能改造逐渐成为提升机电系统运行质量的重要路径。本文从机电设备节能改造的技术原理出发，梳理了典型设备中的高耗能特征，分析适配性强、成本控制合理的改造技术，并结合系统集成思路探讨了多设备间的节能协同机制。在实践层面，本文以具体项目为例，通过改造前后能耗、效率、运维成本等关键指标的对比，验证了改造技术的实施效果，指出了目前改造中存在的技术瓶颈与优化方向。研究表明，科学选型与系统协同可显著提升机电设备运行的能源利用率，为推动工业绿色转型与节能目标达成提供了可行路径。

关键词：机电设备；节能改造；系统集成；能效评估；运维优化

DOI： 10.69979/3060-8767.25.06.065

引言

能源消耗一直是制约工业发展质量与可持续性的关键因素，而机电设备作为制造业和建筑运维中的主要能源使用载体，其能效水平直接关系着整个系统的能耗表现。在大量传统厂房和建筑项目中，仍存在运行时间长、维护不当、设计落后等问题，导致能量浪费严重，不仅增加了企业的运营成本，也背离了“双碳”背景下提倡的绿色发展理念。因此，如何通过技术手段对在用机电系统进行节能改造，成为当前工程领域亟需突破的现实命题。

相较于新建项目可在设计阶段引入高效设备与控制方案，既有系统往往面临设备多样性、技术路线老化、改造空间有限等多重制约。节能改造不仅要求对设备运行特性有清晰认知，还需具备较强的系统协同意识和实施路径规划能力。实践中，针对电动机、风机、水泵、空压机等典型高能耗设备，业内逐步形成了变频驱动、柔性控制、智能监测等一系列节能手段。

本文将在梳理节能改造技术基础的前提下，深入分析单设备与系统集成改造路径，并结合实际数据评估其节能成效与优化空间，为相关工程项目提供可落地、可复制的节能改造技术参考。

1 机电设备节能改造的技术基础

1.1 常见机电系统的能耗结构与浪费类型

在工业制造、建筑运行及基础设施系统中，机电设备几乎无处不在，是能源使用的主要终端环节。根据多项行业统计，动力类机电系统（如电动机、水泵、风机、空压机等）在整体能耗结构中占据了六成以上，其中存

在大量能效偏低的老旧设备，运行方式单一、负载调节粗放，成为企业能耗控制的“短板”环节^[1]。

有些老式三相异步电动机虽然仍在正常使用，但其设计效率仅在80%左右，远低于当前高效电机90%以上的水平，长期运行下造成大量电能损耗。而风机和水泵由于选型时多考虑“最大工况”，实际运行中负载率仅维持在50%~70%，加之缺乏智能调节手段，极易形成“满负荷运转”现象。这种与实际需求脱节的运行模式，不仅使电能大量浪费，也加速设备老化。

在使用过程中，另一个典型问题是控制系统落后。一些机电设备仍采用传统的工频控制或手动启停模式，无法根据实时负载波动进行自动调节。同时缺乏故障预测与能效监测模块，使设备维护与运行调优完全依赖人工经验，效率低、反应慢，故障停机频繁，进一步拉低了整体系统的能效表现。

更为隐蔽的能耗浪费还存在于设备布设和使用环境中。例如，在建筑群体内布设的大型送风系统若布局不合理，风阻增加将迫使风机长时间运行于高压状态；部分设备安装于通风散热不畅的区域，电机温升过高，影响其运行稳定性与能效指标；再如照明系统中普遍使用未做区域控制的统一开关，导致大量冗余照明无人状态下长时间开启。这些看似“微小”的运行方式与环境条件，最终都会积聚成巨大的能量浪费。

1.2 节能技术在机电系统中的适配原则

针对上述能耗问题，节能改造技术的引入应建立在“精准识别—合理选型—系统协同”三重原则之上，强调技术应用的针对性、经济性与可持续性。首先，在技术适配方面，应依据设备的运行负载特性、启停频率、

运行时间长短等参数,确定适用的改造手段^[2]。例如,变频调速器可有效适配负载波动频繁的水泵、风机类设备,通过调节频率控制转速,实现按需供能,大幅降低空载与轻载状态下的能耗。

在系统集成层面,节能技术的协同应用将带来更大幅度的综合效益。例如在某大型综合厂房中,空调系统、送风系统与照明系统若能统一纳入能源管理平台,进行负荷预测与自动调节,将有效避免设备之间的运行冲突与冗余。同时,设备运行数据的长期积累也为后续优化提供了精准的决策基础。

节能改造不仅是设备本体的更新换代,还涉及到运行机制、控制策略与数据平台的系统重构。因此,工程实施过程中应注重分阶段推进,在充分调研原系统运行情况基础上,先行试点、逐步铺开,确保新旧系统的兼容性与改造成果的可持续性。

在经济性方面,节能改造的初期投入虽相对集中,但多数项目在2~3年内即可通过电费节省收回成本。尤其在电价分时计费、碳交易政策持续推进的背景下,企业对能效提升的投入回报比正呈现上升趋势。通过政策支持、技术集成与管理机制改革,机电设备节能改造正逐步从“单点尝试”走向“系统推进”,并成为企业竞争力重塑的重要支点。

2 节能改造技术路径与系统集成策略

2.1 单设备节能改造技术方案分析

节能改造的基础往往始于关键单体设备的性能优化。不同类型的机电设备由于运行特性与工况条件差异,其节能改造的切入点和技术方案也各不相同。在工业系统中,电动机是最为常见的能耗主体,其运行效率对整个系统的能效表现有直接影响。对于效率偏低的旧型三相异步电动机,最直接的方案是更换为国家能效标准中列为二级或一级的新型高效电机,并结合软启动器或变频器控制器进行启停及转速优化,从而降低启动力矩对电网的冲击,并根据实际负载自动调整功率输出^[3]。

风机与水泵是另一类普遍存在于工商业与市政基础设施中的动力设备,其节能空间集中在运行调节方式上。传统系统中往往通过阀门、挡板等机械方式调节流量,不仅效率低下,且造成大量机械能浪费。引入变频器控制后,可通过电气方式实现精准流量控制,减小能量消耗,并可降低设备噪声与振动水平,延长使用寿命。某自来水厂通过对主供水泵增设变频器,运行一年后电能消耗下降了约18%,节省了大量运营成本。

空压机系统在大型厂房与生产线中也占据重要地位,其运行能耗常年维持高位。传统工频空压机存在频繁卸载、能源浪费严重的问题。升级为永磁变频空压机

后,可实现连续调节输出气量,并通过加装储气罐、自动排水器与管道保温措施形成协同节能机制。此外,空压系统泄露率高的问题也需通过设备本体维护与气路管道优化加以解决,这种节能改造往往无需更换整机,性价比较高。

照明系统则是最易入手且成本最低的改造对象。在厂房、办公楼等场景中,将老旧荧光灯或白炽灯更换为LED灯具,可直接降低约40%~60%的电能消耗。如果再结合照度感应器与定时控制器,结合使用区域的工作时段设置多组控制逻辑,则节能潜力将进一步提升。部分地区还出台了照明系统节能改造的补贴政策,提高了企业的改造积极性。

2.2 多设备系统集成与节能协同机制

当节能工作向更高层级推进,系统集成成为关键路径。多个机电设备协同运行的系统如空调系统、给排水系统、消防风排系统、电梯群控系统等,其能效水平不仅取决于单台设备的性能,更依赖于系统之间的配合与调度策略的科学性^[4]。

以中央空调系统为例,其主要由主机、冷却塔、水泵、风机盘管等子系统构成。系统整体能效提升需从全链条入手:首先在末端负载侧,通过设置室内温湿度感应器与人员活动感知装置,结合智能控制逻辑精准调节送风量;中间环节可设置变量流量控制器(VAV)与水泵变频装置,动态匹配冷量与水量输送;主机层面则可采用双机轮换运行、负荷预测调度与自动卸载机制,减轻主机过载运行风险。在实践中,某高校机电中心通过全面升级中央空调系统,年节电率达到了21.5%。

系统级节能还依赖于数据平台的支撑。通过构建能效监测平台,对各类设备的运行参数进行实时采集与记录,并建立历史数据库,可为后续的优化调度、预警维护与能耗分析提供支持。部分先进系统还引入了AI算法,基于设备运行曲线与外部气候数据自动推演运行方案,显著提升了调节精准性。

在系统集成过程中,节能控制策略同样重要。例如,泵组运行策略可采用“最优台数控制法”,避免全开或全停所造成的波动;照明系统与门禁系统可联动实现“人来灯亮、人走灯灭”;电梯系统通过群控算法调度运行顺序与停靠楼层,有效避免空载与重复运行。这些逻辑规则的搭建虽不增加硬件投入,却可在原有基础上释放出新的节能空间。

若系统内部存在低效设备、数据孤岛或控制权限不清等问题,即便配置再先进的系统,也难以发挥其应有效能。因此,在系统级改造中,除了硬件技术本身,更应注重系统边界的清晰性、控制策略的稳定性与运维机

制的闭环性。

3 节能改造的应用效果评估与实践反馈

3.1 节能效果的多维度评估方法与实际反映

在节能改造项目完成后,评估其效果不仅需要观察直接的能耗变化,还需构建多维度评估体系,涵盖单位能耗、系统稳定性、运行维护成本与碳排放等关键指标。系统能效的提升体现在多个层面,单一维度无法准确呈现节能成效的全貌^[5]。

以一座城市轨道交通车站的空调系统改造为例,在对压缩机、更换冷凝器、调整控制逻辑后进行为期一个月的数据采集,运行能耗相比改造前下降了18.3%,设备故障率降低,维保频率从每月两次减少为一次。同时,运行声音降低20%以上,乘客舒适度获得提升,说明节能改造在节能指标之外也影响到运行品质。

在评估中应考虑标准化修正,以避免偶然因素对评估结果造成偏差。部分企业引入第三方评估机构进行独立测评,以提升评估报告的客观性与权威性。通过高频监测和横向对比,不仅能反映阶段性改造成效,也为后续优化提供数据支持。

管理层更关注节能投资回报周期。在改造完成后的半年内,若能产生相对可观的电费节省,并在维护支出方面体现效益,项目更容易获得持续投入。例如,某大型酒店通过楼宇智能化改造实现年节电8.5万千瓦时,节省费用约7万元,预计2.1年即可回本,成为后续分支系统升级的有力推手。

整体来看,节能改造项目的成效评估应立足于全周期视角,不仅是工程竣工时的节能率计算,更应关注其长期运行表现和多层次反馈,才能实现科学复盘与经验积累。

3.2 应用中的运行难点与持续优化机制

节能系统在落地执行过程中,不同场景下常暴露出一些与原始设计不完全匹配的问题。改造方案虽在设计阶段通过仿真模拟与参数推导进行论证,但现实工况下的复杂性仍会带来调整需求。

设备之间的通信协议不统一是典型障碍。以中央空调系统为例,不同厂商提供的主机、水泵、风机间数据接口不一致,常导致集成平台数据丢失或传输延迟,最终影响协同控制策略。为改善这一问题,不少工程采用中间层协议转换模块,通过逻辑桥接实现统一标准,虽然增加了成本,但有效保证系统稳定运行。

控制系统响应滞后也会削弱节能成效。部分建筑采用静态温控设定,当外界温度变化剧烈时,系统无法及时自我调整,造成能源浪费。更优解是在现有逻辑基础上叠加自适应控制算法,依托实时数据自动修正策略,

从而实现动态能耗管理。

人的因素同样不容忽视。操作人员缺乏对新系统的理解,会出现频繁切换手动控制、忽略系统告警等行为,使节能系统难以充分发挥作用。改善路径包括强化操作培训、简化系统界面、引入图形化告警和提示等。通过友好的人机交互界面提升使用者意愿,是系统长期发挥效能的保障。

在实际运行中,部分场所还出现节能系统影响舒适度的问题。例如风量调节过度,造成室内温度忽冷忽热,影响使用体验。解决此类问题,需在运行数据基础上重新标定调节区间,并通过反馈机制不断校准策略,寻求能效与舒适之间的平衡。

对成功项目的复盘显示,节能系统上线后能否长期稳定运行,取决于持续的数据分析与迭代更新能力。持续追踪运行状态,按季度或半年开展一次运行复核,并在此基础上微调策略,是保证节能系统“活力”的必要步骤。

4 结语

机电设备作为现代工程系统中的核心单元,其运行效率直接关系到能源使用总量与运营成本水平。节能改造技术的应用,不仅有助于缓解能耗压力,更体现出对绿色发展理念的积极响应。通过对机电系统的能耗结构解析、技术路径的实施研究,以及改造效果的多维评估,可以发现科学合理的节能措施在保障系统稳定运行的同时,也带来了可观的经济回报和环境效益。

节能改造并非一次性工程,而是需要贯穿设备全生命周期的系统性工作。后期的维护管理、数据反馈机制与操作人员的协同意识,决定着改造成果能否持续发挥作用。未来应在改造技术标准化、智能化水平提升和应用场景扩展等方面持续探索,推动节能理念向更广泛的工业应用延伸,实现工程效益与可持续发展目标的有机统一。

参考文献

- [1]张生剑.变频控制技术在矿山机电设备节能改造中的应用[J].当代化工研究,2025,(12):108-110.
- [2]韦荣李.造纸厂机电一体化设备的节能改造技术研究[J].造纸技术与应用,2025,53(02):19-21+24.
- [3]张帅.浅析煤矿机电设备中变频技术的节能改造[J].矿业装备,2023,(01):64-66.
- [4]刘剑.工厂机电设备节能改造技术的应用研究[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2019,(03):195-196.
- [5]强艳.变频技术在机电设备节能改造中的应用研究[J].造纸装备及材料,2023,52(03):90-92.