

低碳背景下机电工程节能改造关键技术研究

许邱晔 滁州东源电力工程有限公司

摘要

在我国“双碳”战略深入推进、城乡建设绿色低碳转型加速的时代背景下，机电工程作为工业生产、公共建筑、民用建筑能耗与碳排放的主要来源，其高耗能、低能效、系统匹配性差等问题日益凸显。老旧机电设备运行效率偏低、控制模式粗放、能源利用形式单一、余热资源浪费严重，不仅造成大量能源损耗，还直接加剧区域碳排放压力。开展机电工程节能改造，是降低能源消耗、减少碳排放、提升系统运行效益、推动行业绿色升级的核心路径。本文立足于低碳发展视角，分析当前机电工程能耗现状与节能改造现存问题，从设备本体升级、变频调速控制、余热余能回收、暖通空调系统优化、供配电系统节能、BIM数字化管控、智慧能源管理等方面，系统梳理机电工程节能改造关键技术体系，提出全流程技术应用策略与保障措施，为各类建筑及工业机电工程低碳化改造提供理论支撑与实践参考，助力实现能源高效利用与碳排放持续下降。

关键词：低碳背景；机电工程；节能改造；变频技术；余热回收；智慧管控

引言

全球气候变暖与能源资源紧缺问题日趋严峻，碳达峰、碳中和已成为我国重要国家战略，建筑与工业领域作为能源消耗和碳排放的重点板块，绿色低碳转型迫在眉睫。机电工程涵盖供配电、暖通空调、给排水、动力设备、通风排烟、电梯、照明等多个系统，广泛应用于工业厂房、商业综合体、写字楼、住宅小区、市政公用设施等场景，其能耗占建筑总能耗60%以上，在工业生产中更是占据能源消耗主体地位。

长期以来，我国大量既有机电工程存在建设标准偏低、设备老化落后、运行模式粗放、技术匹配度不足、运维管理不到位等问题。传统机电设备多采用恒速运行、粗放式供能模式，风机、水泵、空压机、冷水机组长期处于“大马拉小车”状态，能源无效损耗严重；余热、余压、废热等低品位能源未得到有效回收利用；机电系统之间缺乏协同联动，控制方式智能化程度低，造成能源综合利用率低下。同时，部分项目重建设、轻节能，改造过程碎片化、技术应用单一化，缺乏系统性低碳规划，难以实现深度节能降碳。

随着绿色建筑、超低能耗建筑、工业绿色制造政策不断落地，机电工程节能改造不再是简单的设备更新，而是向着高效化、智能化、系统化、循环化方向升级。通过先进节能技术、数字化管控手段、能源循环利用模式，实现设备能效提升、系统协同优化、能源梯级利用，既能降低企业与建筑运营成本，又能有效减少碳排放，对推动行业绿色可持续发展、助力区域低碳建设具有重要现实意义。

一、低碳背景下机电工程能耗现状及节能改造主要问题

（一）老旧设备能效偏低，能源损耗严重

大量服役年限较长的机电设备仍在运行，电机、水泵、风机、冷水机组等多为三级及以下低能效产品，能量转换效率低，机械损耗、无功损耗大。传统异步电机运行过程中功率因数偏

低，空载、轻载运行时电能浪费显著；水泵、风机叶轮老化、流道不合理，水力损耗高；空调机组制冷效率衰减，部分老旧冷水机组综合能效比不足 3.0，远低于现行节能标准。设备长期高能耗运行，直接造成能源浪费与碳排放增加。

（二）运行控制模式粗放，负载匹配性差

多数机电系统采用定频恒速运行，无论实际负荷大小均满功率运转，无法根据环境温度、人员密度、生产工况、用水用电需求动态调节。例如中央空调系统全年恒定流量运行、供水水泵恒压不间断工作、通风设备全天开启，导致大量无效能耗；多设备并联运行缺乏群控策略，设备启停不合理，进一步加剧能源浪费，与低碳节能的精细化管控要求差距较大。

（三）能源利用形式单一，余热资源浪费突出

机电系统运行过程中产生大量余热、废热、余压，如空压机余热、空调冷凝热、设备散热、工业废水余热、烟气余热等。现阶段多数项目未配套余热回收装置，低品位热能直接排放，既造成能源浪费，又增加城市热岛效应。能源利用模式单一，太阳能、空气能、地热能等可再生能源与机电系统融合不足，未能实现多能互补、梯级利用。

（四）系统协同性不足，整体能效偏低

机电各子系统独立运行，暖通、给排水、供配电、照明之间缺乏联动控制，运行参数无法统一调配。空调、新风、照明系统各自独立启停，未结合室外温湿度、自然光、人员活动情况联动调节；供配电系统无功补偿不足、谐波干扰严重，进一步降低整体能源利用效率。同时，管线布局不合理、管网漏损、保温层破损，造成输送环节能源损耗。

（五）智能化水平不足，运维管理较为落后

传统机电工程依靠人工巡检、人工调控，能耗数据采集不全面，无法精准定位高能耗点位；缺乏能源监测、数据分析、智能预警体系，设备故障、能耗异常不能及时发现；运维人员节能意识薄弱，缺乏系统化低碳运维方案，改造后节能效果难以长期维持。此外，部分改造项目缺乏前期能效诊断，技术选型盲目，改造投入与节能效益不匹配。

二、低碳背景下机电工程节能改造核心关键技术

（一）高效机电设备替换与本体升级技术

设备本体节能是改造的基础环节，坚持源头降耗，优先替换老旧高耗能设备，全面提升单机能效。将传统 Y 系列异步电机更换为 YE4、YE5 级超高效永磁同步电机，在同等工况下效率提升 10%~18%，功率因数可达 0.95 以上，大幅降低无功损耗；水泵、风机采用三元流叶轮、高效节能型设备，优化水力结构，减少涡流损耗；冷水机组替换为磁悬浮离心式、变频螺杆式高效机组，提升综合部分负荷性能系数；变压器更换为非晶合金干式变压器，降低空载损耗。同时对老旧设备进行局部改造，如更换高效轴承、优化密封结构、升级散热系统，在控制成本前提下提升设备运行效率，实现单机层面低碳节能。

（二）变频调速与智能控制节能技术

变频调速技术是机电系统应用最广泛、节能效果最显著的核心技术，通过改变供电频率调节电机转速，实现负载动态匹配，解决恒速运行能耗浪费问题。在风机、水泵、空调水系统、空压机、供水系统中加装变频装置，根据流量、压力、温度实时调节转速，可实现节电20%~40%。

在此基础上融合 PLC 可编程控制、模糊 PID 算法、智能联动技术，构建闭环控制系统。中央空调系统采用变风量 VAV、变流量水系统控制；多台水泵、风机采用群控技术，依据负荷自动启停、分配运行台数；电梯加装能量回馈装置，回收制动能量转化为电能，节能率可达25%。通过精准调控，实现“按需供能、以需定供”，大幅降低系统无效能耗。

（三）余热余压回收与能源梯级利用技术

践行循环低碳理念，挖掘系统废弃能源价值，实现余热回收利用。空压机余热回收利用冷却余热制备生活热水，用于洗浴、供暖；空调冷凝热回收用于热水系统，替代燃气、电加热；工业机电系统烟气、高温废水通过换热器、ORC 低温余热发电技术回收热能，用于生产供热或发电；给排水系统余压回收发电。同时推广多能互补技术，将太阳能光伏、空气能热泵、地源热泵与机电系统结合，利用可再生能源替代传统化石能源，减少化石燃料消耗，从源头降低碳排放。该技术适用于酒店、医院、厂区、大型商业综合体，可实现能源梯级利用，显著提升综合能效。

（四）暖通空调系统低碳优化改造技术

暖通空调系统能耗占建筑机电能耗比重最大，是节能改造重点。一是优化空调水系统，采用大温差小流量运行模式，减少水泵输送能耗；更换老化管道，修复破损保温层，降低冷热量损耗。二是新风系统优化，采用全热换热器回收排风冷热能量，降低新风处理能耗；结合 CO₂ 浓度、人员密度智能调节新风量。三是推广自然通风技术，优化风口布局，合理利用室外空气调节室内温度，减少空调开启时长。四是优化空调运行策略，结合季节变化、昼夜温差调整温度设定，夏季调高、冬季调低，在满足舒适度前提下降低能耗。

（五）供配电与照明系统节能改造技术

供配电系统改造重点治理谐波、优化无功补偿，安装有源电力滤波器、智能无功补偿装置，提升电网质量，降低线路损耗；优化配电线路布局，缩短供电距离，减少线损；推广智能配电箱，实现用电分区计量、远程管控。照明系统全面淘汰白炽灯、传统荧光灯，更换为高光效 LED 灯具；采用智能照明控制系统，结合光照传感器、人体感应、定时控制，实现自然光利用与照明自动开关、调光，公共区域照明节能效果可达40%以上。同时优化应急照明、景观照明布局，杜绝无效照明能耗。

（六）给排水系统节能降耗改造技术

给排水系统主要优化水泵运行、管网漏损、节水器具。供水水泵全部采用变频恒压供水，避免高压供水能耗浪费；更换老旧锈蚀管材，采用 PE、PPR 新型耐腐蚀管材，降低管网漏损率；安装智能水表、压力监测设备，实时监测漏损情况。热水系统采用保温管道，减少热损

耗；推广节水型卫生器具，降低用水能耗。雨水回收系统结合机电给排水设施，实现雨水收集利用，进一步减少市政供水消耗，助力海绵城市建设与低碳节水。

（七）BIM 数字化与智慧能源管理技术

以数字化赋能低碳改造，应用 BIM 技术建立机电三维模型，优化管线综合排布，避免管线碰撞，减少后期施工返工与能源损耗；模拟不同运行工况，优化设备选型与系统布局，实现方案最优。搭建智慧能源管理平台，通过物联网传感器采集电流、电压、温度、流量、能耗等实时数据，实现能耗在线监测、数据分析、故障预警、远程控制。运用大数据分析识别能耗薄弱环节，优化运行策略，实现机电系统可视化、精细化、智能化管控，保障节能改造效果长期稳定，推动低碳运维常态化。

三、低碳背景下机电工程节能改造实施保障策略

（一）开展前期能效诊断，制定个性化改造方案

改造前开展全面能效审计，对设备能耗、运行工况、管网损耗、碳排放水平进行精准检测，识别高能耗点位与技术短板。结合建筑类型、使用场景、负荷特征，坚持“一项目一方案”，区分基础节能、深度节能、低碳智慧化不同层级，合理选择设备替换、变频改造、余热回收、智能管控等技术，避免盲目改造、过度投入，实现节能效益与经济成本平衡。

（二）强化施工全过程质量管控，保障改造效果

严格把控节能材料、设备进场验收，变频器、高效电机、热泵、传感器等设备需符合国家节能低碳标准；规范管线施工、保温施工、系统调试，杜绝施工缺陷造成后期能耗增加。落实隐蔽工程验收制度，重点管控管网保温、变频接线、余热回收管路安装质量；改造完成后开展系统调试与能效测试，确保设备运行稳定、节能指标达标。

（三）健全运维管理制度，实现长效低碳运行

建立常态化节能运维机制，定期检修设备、清洗空调滤网、维护变频系统、校准监测设备，避免设备性能衰减。加强运维人员低碳节能培训，规范设备操作流程，建立能耗台账，定期分析能耗数据，持续优化运行策略。落实分区计量、分项管控，强化人员节能意识，杜绝人为能耗浪费，实现改造后节能效果长效保持。

（四）推动技术融合创新，完善政策与标准支撑

鼓励高效永磁技术、磁悬浮技术、储能技术、数字孪生技术在机电工程中集成应用，推动机电系统从单一节能向综合低碳系统升级。完善机电节能改造行业标准与规范，细化低碳改造技术指标、能效评价体系；落实节能补贴、税收优惠、碳排放交易等政策，引导企业加大改造投入，推动机电工程行业绿色低碳转型。

四、结论

在国家“双碳”战略与绿色低碳发展大背景下，机电工程节能改造已成为降低能源消耗、减少碳排放、提升建筑与工业运行效益的重要抓手。当前我国机电工程普遍存在设备能效偏低、控制模式粗放、余热利用不足、系统协同性差、智能化水平低等问题，能源浪费与碳排放压力突出。

机电工程节能改造应立足低碳视角，以设备升级为基础、变频控制为核心、余热回收为抓手、智能管控为支撑，综合运用高效设备替换、变频调速、余热余能回收、暖通系统优化、供配电照明节能、BIM 数字化、智慧能源管理等关键技术，实现单机能效提升、系统协同优化、能源循环利用。同时通过前期能效诊断、施工质量管控、长效运维管理、政策标准完善，构建全流程低碳改造体系。

未来，随着数字化、智能化、可再生能源技术不断革新，机电工程节能改造将朝着多能互补、智慧调控、深度降碳方向持续升级。通过系统化技术创新与精细化管理，能够有效降低机电系统能耗与碳排放，提升项目综合经济效益、环境效益与社会效益，为我国城乡建设绿色低碳转型、实现碳达峰碳中和目标提供坚实技术保障。

参考文献

- [1] 朱浩强.绿色建筑理念下建筑机电安装节能技术优化及低碳施工路径探索[J].工程建设与设计,2025(08):124-126.
- [2] 薛景隆.绿色节能技术在公共建筑机电工程中的应用探究[J].科技资讯,2025,23(01):182-184.
- [3] 唐绍贵,姜方青.游观荣.机电工程节能改造中变频技术与余热回收技术应用研究[J].中国建筑装饰装修,2024(12):83-85.
- [4] 杨红春.建筑机电安装工程中的电气节能施工技术分析[J].大众标准化,2023(07):105-107.
- [5] 尚泉森,奥云军,赵海生.基于 BIM 的能源岛机电工程工厂化预制施工技术[J].安装,2024(01):79-81.