

既有民用建筑空调系统运行优化及升级改造方案研究

马永亮 王晓中 李月姣 谷中卉

机械工业第六设计研究院有限公司 河南 郑州 450007

摘要:既有民用建筑空调系统普遍存在设备陈旧老化、输配管网结垢阻塞、系统严重降效运行、运行管控粗放、维护保养缺失等问题,长期存在单位能耗居高不下,运维成本逐年增高,难以满足系统智慧控制调节、室内环境热舒适性需求。本文通过现场实测梳理系统能耗分布特征,全面剖析设备、运维、配套体系的核心问题及各类影响因素,针对性提出参数精细化调控、分时分区管控、负荷动态匹配的优化策略,搭建分层递进的升级改造方案。结合工程实例验证,该方案可有效提升系统能效、降低运行能耗,为同类建筑空调系统绿色节能改造提供可靠参考依据。

关键词:既有民用建筑;空调系统;运行优化;升级改造方案

引言:在城市更新行动深度推进、建筑双碳战略目标实现、新时代高质量发展的行业背景下,国内既有民用建筑具有存量规模庞大、单位面积能耗强度高及环境负荷高等特点,空调系统作为既有民用建筑能耗和碳排放大户,约占建筑总能耗的 40%~50%,且比例还将继续增长,是现阶段既有建筑节能改造的重点攻坚对象。目前多数既有建筑空调系统运行模式固化,负荷调节响应滞后,设备联动协调性较差,且缺乏完善的精细化运维体系,已逐步进入升级改造高峰期。这类问题不仅造成建筑严重的能源损耗、大幅增加空调系统运营成本,还会引发室内温湿度失衡、空气质量波动等舒适性环境隐患。

1 既有民用建筑空调系统现状及问题分析

1.1 既有民用建筑空调系统典型类型与组成

(1) 常见空调系统类型:涵盖集中式中央空调、风机盘管加新风系统、多联机空调系统及分体式空调等民用建筑主流形式,分别适配办公建筑、住宅建筑、商业建筑等不同建筑场景。各类系统在冷热源形式、输配方式及末端配置方面存在显著差异,系统选型直接决定运行能耗水平与后期管控复杂程度。(2) 空调系统核心组成结构:主要包括冷热源设备、输配管网、末端换热设备、控制系统及新风系统五大核心模块。冷热源负责提供冷热量,输配管网实现能量输送,末端设备完成室内换热,控制系统协调各环节运行,新风系统保障空气品质,各模块协同运行共同保障室内空调环境,同时也是能耗消耗与故障高发的核心单元,各模块之间耦合关系密切^[1]。

1.2 空调系统运行现状实测与能耗特征分析

(1) 现场实测方案设计:选取典型既有民用建筑作为研究对象,明确温湿度、设备运行功率、水流量、新风量等关键实测指标,合理布置测点位置与数据采集频率,制定覆盖供冷季与供暖季的常态化数据采集方案,严格规范记录流程,确保数据真实有效,为后续深入分析提供可靠基础数据支撑。(2) 系统能耗分布特征:通过实测数据系统整理,量化分析冷热源、输配系统及末端设备的能耗占比,精准识别高能耗核心环节。实测表明,老旧空调系统冷热源能耗通常占总能耗 50%~65%,输配系统占 20%~30%,末端设备占 10%~15%;同时系统能耗随季节变化及时段性负荷波动呈现显著的非线性响应特征。

1.3 既有空调系统现存核心问题

(1) 设备本体问题:设备长期服役导致老化、能效持续衰减、零部件磨损加剧,冷热源机组 COP 值显著偏低(部分老旧机组 COP 低于 3.0),末端换热效率明显下降,设备运行故障率升高、整体运行稳定性差。(2) 运行管控问题:缺乏精细化运行调控策略,存在设备启停不合理、运行参数设置粗放、新风配比失当、负荷调节严重滞后等问题,导致大量无效能耗白白消耗,系统长期偏离最优运行区间。(3) 系统配套问题:管网老化结垢、保温层破损严重、阀门执行机构失灵,传统手动控制系统智能化程度极低,无法实现负荷动态匹配,各模块协调性差,系统整体运行耦合性严重不足。

1.4 空调系统能耗影响因素分析

(1) 客观环境因素:室外温湿度动态变化、季节性

气候交替、围护结构保温隔热性能及室内人员密度与设备散热波动等外部条件,是导致负荷变化的首要外部驱动力。(2)系统运行因素:机组负荷率、冷冻水供水温度、水系统流速、新风换气次数及多设备联动控制逻辑等运行参数,直接决定变工况下的能效响应特性,属内在可控因素。(3)设备性能因素:设备服役年限与老化程度、冷热源与末端装机容量匹配度、管网沿程与局部阻力损耗及传感器与控制算法精度等硬件条件,直接制约系统整体运行效率,是评判改造价值的关键依据。

2 既有民用建筑空调系统运行优化策略研究

2.1 空调系统运行参数精细化优化

(1)冷热源机组参数优化:基于建筑逐时冷热负荷变化特性,综合优化冷水机组供水温度设定值、机组运行台数组合策略及单机运行负荷率分配等核心参数。通过合理调配各机组的制冷出力,使压缩机和换热器工作于性能系数最高的负荷区间,避免机组长期运行于部分负荷低效区域,有效降低主机单位制冷能耗。(2)输配系统参数优化:以空调水系统供需两侧动态平衡为出发点,优化管网循环流量与供回水温差控制范围,合理调整水泵运行频率和组合方式。着力解决大流量小温差等典型低效运行问题,降低输配系统水泵扬程与流量冗余消耗,减少管网沿途不必要的输送能耗^[2]。(3)新风系统运行优化:统筹考虑室内CO₂浓度、颗粒物浓度等空气品质指标以及室外温湿度气象参数的变化,动态调节新风换气次数、新风送风温度设定值及新风回风混合比例。

2.2 空调系统运行管控模式优化

(1)分时分区运行管控:依据建筑不同区域的使用功能属性、人员作息时间规律及室内热湿负荷分布差异,科学制定分时启停控制、分区独立调节的运行方案。合理设定不同时段不同区域空调系统的投入规模与出力水平,精准消除无人区域空调持续无效运行的能源浪费,真正实现按需供给的精细化管控。(2)设备联动运行优化:全面优化冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔风机及组合式空调机组之间的联合调度控制逻辑,系统性修正传统控制模式中普遍存在的响应迟滞、错峰失调、启停时序冲突等问题。提升多设备跨单元协同配合能力与系统整体运行一致性,确保各环节在变工况条件下保持协调高效的联动响应^[3]。

2.3 基于负荷预测的动态优化运行策略

(1)建筑空调负荷预测模型构建:融合气象预报数据、历史运行数据及建筑使用计划等多源信息,选取适宜的预测算法搭建短期空调逐时负荷预测模型,准确预

判建筑空调负荷变化趋势与峰值出现时段。为系统动态优化调度提供可靠的输入条件与决策依据,提升优化策略的前瞻性与科学性。(2)动态负荷匹配优化策略:基于负荷预测结果提前调整空调系统运行模式、机组出力分配方案及输配系统参数设定值,实现系统供冷供热输出与建筑实际负荷需求之间的动态精准匹配。有效避免因供需失衡造成的部分负荷低效运转与能源浪费,最大限度提升系统全年综合运行效率。

3 既有民用建筑空调系统升级改造方案设计与效果评价

3.1 空调系统升级改造原则与思路

(1)改造基本原则:遵循节能高效、经济适用、安全稳定、因地制宜四项基本原则。在方案设计时统筹兼顾改造性价比、施工可行性与后期运维便利性,确保每项改造措施具备明确的节能贡献与投资回报价值,坚决杜绝脱离实际需求的过度改造与缺乏实质效果的无效改造,实现有限资金投入下的综合收益最大化。(2)整体改造思路:确立“低成本优化优先、智能化升级为辅、设备更新兜底”的三级递进改造思路^[4]。

3.2 分模块升级改造方案设计

(1)设备本体升级改造:针对老化严重、能效严重偏低的冷水机组、风机、水泵等核心耗能设备,选用磁悬浮离心机组、永磁同步电机风机、变频水泵等高效节能产品进行替换更新;对尚具服役条件的设备实施关键零部件更换维修、换热表面清洗再生及能效修复处理,最大限度恢复并提升设备运行性能水平。(2)管网系统改造:对结垢堵塞、保温破损的空调水系统与风系统管网进行全面清洗疏通、保温层修复更换及密封处理,更换锈蚀老化的阀门、过滤器及补偿器,有效降低管网沿程与局部阻力损耗,减少冷热量沿途散失,改善水力与热力平衡状况^[5]。

3.3 典型案例改造方案应用

(1)案例建筑概况:选取一栋具有代表性的典型既有民用建筑作为案例研究对象,详细阐述其建筑规模、使用功能类型、空调系统现有配置形式、运行年限及当前能耗水平,明确该建筑存在的主要能耗问题与亟待解决的改造需求。(2)定制化改造方案落地:结合案例建筑实际现存问题,系统匹配前文提出的运行优化策略与分模块改造技术,制定涵盖运行参数调整、管控模式优化、设备更新选型及智能化改造在内的整体升级改造实施方案,明确施工关键工序与重点技术把控要点。案例建筑改造方案的核心实施内容、技术路径及施工关键点如表1所示。

表 1 案例建筑改造方案实施要点与技术匹配

改造部位	现存问题描述	采取对策	技术措施	施工关键点
冷水机组	COP 低、制冷量衰减	设备更换	磁悬浮变频离心机组	基础加固、冷媒充注、调试
冷冻水泵	工频运行、效率低	变频改造	加装变频器、更换高效电	电气接线、谐波治理、频率标
空调水系统	水力失衡、保温破损	水力平衡 + 保温修复	动态平衡阀、橡塑保温更换	阀门安装位置、保温层厚度
控制系统	手动操作、无监控	自控升级	DDC 控制器、传感器组网	点位核对、通讯调试、逻辑验证
新风系统	新风量固定、无热回收	新风联动 + 热回收	全热回收转轮、CO ₂ 浓度联动	风道改造、防冻保护、旁通设置

3.4 改造方案效果综合评价

(1) 节能效果评价：通过改造前后实测数据对比及模拟分析，全面量化系统总能耗变化、冷热源机组能效比提升幅度、输配系统能耗下降比例等核心指标，精确核算综合节能率及年度节能量与节省费用。(2) 舒适

性能评价：对比改造前后室内温湿度分布、CO₂ 浓度水平、温度均匀度及气流组织等热舒适关键指标，客观验证改造措施对室内空气环境品质与人员舒适感受的改善效果。案例建筑改造前后典型日室内环境参数的实测对比如表 2 所示。

表 2 改造前后室内环境与能耗参数对比

对比参数	改造前实测值	改造后实测值	改善幅度	备注说明
夏季室内温度波动	±2.8℃	±0.9℃	缩小 67.9%	设定温度 26℃工况下
冬季室内温度波动	±2.5℃	±1.1℃	缩小 56.0%	设定温度 20℃工况下
室内 CO ₂ 浓度	850~1200ppm	450~750ppm	降低约 40%	人员密集时段监测
全年系统综合 COP	2.8	4.2	提升 50.0%	含输配及末端能耗
年运行耗电量	185 万 kWh	132 万 kWh	降低 28.6%	供冷季 + 供暖季合计
单位面积年能耗	92.5kWh/m ²	66.0kWh/m ²	降低 28.6%	建筑总面积 2 万 m ²

(3) 经济与社会效益评价：系统测算项目改造投资总额、年度运行费用节省及静态投资回收周期，评估改造方案的经济可行性与长期财务回报；同时结合年度碳排放量、节能量等指标，综合评估改造对建筑绿色发展与双碳目标实现的社会贡献价值。

结束语

本文系统完成既有民用建筑空调系统现状问题梳理、能耗机理分析、运行优化策略构建与模块化升级改造方案设计，确立了低成本优先、智能化为辅、设备更新兜底的阶梯式改造思路。工程实践证明，通过精细化运行优化与系统性升级改造，可有效改善空调系统运行工况，提升室内人居舒适环境，显著降低建筑全年能耗。本次研究形成的技术体系与实施路径，可为各类既

有民用建筑空调系统提质增效、绿色化节能改造提供有力的理论支撑与实践指导。

参考文献

[1] 谭志强, 查焱, 谢鹏. 既有建筑空调通风系统节能改造及运行优化研究 [J]. 中国新技术新产品, 2025, 14(08): 67-72.

[2] 李萌. 低碳背景下既有民用建筑空调系统智能化改造技术应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, 19(11): 89-92.

[3] 朱雨婷. 既有办公建筑超低能耗改造设计与空调系统优化 [J]. 建筑节能 (中英文), 2025, 53(04): 57-62.

[4] 韩广宇. 既有办公楼制冷机房节能改造项目运行能效分析 [J]. 制冷与空调, 2022, 22(02): 64-69.

[5] 宋真真. 既有建筑暖通空调系统节能改造设计实践研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(15): 136-138.