

Study on energy efficiency improvement technology and scheme in renovation of HVAC system of existing buildings.

Qingjie Yao

Chongqing Academy of Metrology and Quality Inspection, Chongqing, 400000, China

Abstract

The energy efficiency improvement of HVAC systems in existing buildings has become a crucial research direction in building energy conservation. Through comprehensive investigation and energy consumption analysis of an office building's HVAC system, this study systematically identified key issues including equipment aging, outdated control strategies, and low energy utilization efficiency. Based on measured data and theoretical analysis, a comprehensive renovation plan was proposed, encompassing high-efficiency equipment replacement, variable frequency technology application, intelligent control system upgrades, and waste heat recovery. Post-renovation, the system achieved a 32% improvement in overall energy efficiency ratio, saving 0.658 million kWh annually and reducing carbon emissions by 352 tons. The research findings demonstrate that existing building HVAC systems possess significant energy-saving potential through scientific integration of technologies and optimized design.

Keywords

existing buildings; HVAC; energy efficiency improvement; variable frequency technology; intelligent control; energy-saving renovation

既有建筑暖通空调系统改造中的能效提升技术与方案研究

姚庆节

重庆市计量质量检测研究院, 中国 · 重庆 400000

摘要

既有建筑暖通空调系统能效提升改造已成为建筑节能领域的重要研究方向。本文通过对某办公建筑暖通空调系统的全面调研与能耗分析,系统诊断了设备老化、控制策略落后、能源利用效率低等关键问题。基于实测数据与理论分析,提出了包括高效设备更新、变频技术应用、智能控制系统升级、余热回收利用等在内的综合改造方案。改造方案使系统综合能效比提升32%,年节能量达到65.8万kWh,碳排放减少352吨。研究表明,通过科学的技术集成与优化设计,既有建筑暖通空调系统具有巨大的节能潜力。

关键词

既有建筑; 暖通空调; 能效提升; 变频技术; 智能控制; 节能改造

1 引言

近年来,建筑物能源消耗占全社会能源消耗的比重不断上升,其中暖通空调消耗约占建筑物总能耗的40%~50%。目前大量建筑的在用暖通空调系统实际使用时间达到15年以上,运行效率不高、运行控制方法过时、能耗较高的情况十分常见。随着国家“双碳”战略的推进,对建筑物暖通空调系统进行节能改造是建筑领域推动碳减排的重要举措。随着既有建筑改造工作推进,技术方案选择多、投资回收期长、改造目标不能完全实现的风险大等因素制约其改造进程。如何在完全实现室内环境质量指标的前提下,通过改造采用新技术、优化系统设计配置,实现更大程

度上的节能降耗,成为广泛关注的重要技术课题。本文在既有工程实践应用的基础上,探讨并提出适合既有建筑的暖通空调系统节能改造技术路线及实施方案。

2 既有建筑暖通空调系统现状分析与能耗评估

2.1 案例建筑基本情况与系统现状分析

研究对象为一栋办公建筑,建筑面积14,600余平方米,地上12层,地下1层。建筑主要功能为办公用房,标准层层高3.6米,建筑外围护结构为铝塑板+玻璃幕墙体系。原暖通空调系统采用4组模块式风冷热泵机组加风机盘管的空气调节形式。冷源配置为4台额定制冷量462kW的模块式风冷热泵机组,机组设置于屋顶。空调水系统为一次泵定流量系统,采用开式逆流型。冷水供回水温度设计为7/12℃,热水供回水温度为45/40℃。末端采用风机盘管加新风的空调方式。

【作者简介】姚庆节(1975-),男,中国重庆人,本科,高级工程师,从事工程管理研究。

2.2 既有系统能耗测试与数据采集

为准确掌握系统运行状况，需要建立了完整的能耗监测体系，在机组、水泵、空调水管网、末端设备等关键部位安装智能电表和流量计等，实现能耗数据的实时采集^[1]。监测周期应覆盖全年运行工况，数据采集频率为 15 分钟。通过连续监测，以获取了系统各部分的详细能耗数据进行分析。机组年运行小时数为 1800 小时，年耗电量为 205.9 万 kWh；冷冻泵年耗电量为 41.1 万 kWh；风机年耗电量为 16.1 万 kWh。表 1 展示了系统主要设备的能耗分布情况。

2.3 系统运行效率分析与问题诊断

通过对监测数据的深入分析，发现系统存在以下主要

问题：冷水机组实际运行 COP 仅为 2.1，低于设计值。主要原因包括：机组运行年限较长，换热器污垢严重，热组增大换热效率降低，压缩机内部磨损以及制冷剂泄漏导致机组效率下降。水系统时常维修导致机组经常在部分负荷下运行，实际负荷率常在 30% ~ 60% 之间，而定频机组在此负荷区间效率较低导致能效降低。同时水系统存在严重的大流量小温差现象，导致水泵输送能耗大幅增加。管网水力失衡严重，部分末端供冷不足，部分末端过冷，系统整体效率低下。控制系统采用简单的定时启停和手动调节方式，无法根据实际负荷需求进行优化控制。冷水机组、水泵、冷却塔之间缺乏联动控制，各自独立运行，能源浪费严重^[2]。

表 1 既有暖通空调系统设备能耗分布

设备类型	装机功率 (kW)	年运行时间 (h)	年耗电量 (万 kWh)	占比 (%)	设备类型
风冷热泵机组	450	1800	137.7	66.88	热泵机组
冷冻水泵	39	1800	41.1	19.96	冷冻水泵
风机	33	1800	16.1	7.82	风机
末端设备	92	1800	11	5.34	末端设备
合计	-	-	205.9	100	合计

2.4 改造前系统综合能效评价

通过分析计算全年运行参数发现系统综合性能系数较低；单位面积全年能耗值为 141kWh/m²，建筑暖通空调系统整体能耗偏高。经过能效计算还发现系统在过渡季节能源消耗过大，经过调研走访了解到在春秋两季室外温度适中时由于各房间湿热负荷的差异，一些房间采用自然通风改善室内热舒适性，但此时暖通空调系统依旧采用夏季工况运行以改善湿舒适性，系统负担加到且造成了较多不必要的能源消耗。

3 暖通空调系统节能改造技术方案设计

3.1 高效设备选型与变频技术应用

磁悬浮冷水机组采用无润滑油系统设计，因此可避免油摩擦问题^[3]降低系统能耗水平。而且磁悬浮冷水机组的制冷量能与机组运行负荷同步变化，如冷冻水系统水流量及泵频率均可与流量线性匹配，制冷机组能够在 25% ~ 100% 的负荷范围内完成供冷任务。此外，磁悬浮冷水机组具备排

气、排水技术，使得机组具有自动防喘震、防液击和自动排气的性能；全封闭无油系统，采用三级结构轴承设计。选用磁悬浮离心式冷水机组替换现有制冷机组，利用磁悬浮冷水机组的运行特点，可实现 6.4 以上的能源利用效率，能过有效改善现有暖通系统的能效指标。系统所用的水泵全部改为变频调速，其中冷却水泵采用温差控制，控制系统通过传感器采集冷却水进水与出水温度，调节水泵驱动电机的工作频率改变叶轮转速来自动控制循环水流量。同时采用压差控制保障目前空调水系统的安全，能有效减少因管道泄漏导致的维修工作。冷热水循环泵出水流量 125 升 / 秒，水泵功率 11 千瓦，实测变频后运行频率 42.62Hz，节电率 45%。由图 1 变频水泵性能曲线图可知，运行频率在 33 ~ 36Hz 时水泵可实现最优能源利用效果。分析图 1 可知，系统负荷 50% 时，变频水泵功率仅仅为额定功率的 12.5%，节电效果非常明显。而定频水泵加阀门调节流量的方式在形同情况下水泵能耗仍然在额定功率的 70% 以上。

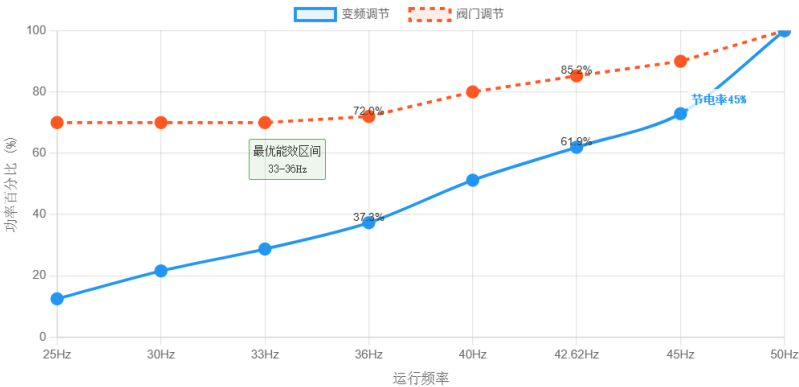


图 1 变频水泵能效特性曲线

3.2 系统控制策略优化与智能化升级

改造过程中可引入基于物联网技术和优化控制策略的冷站控制系统，使冷站设备级与系统级均可以实现优化，以提高整个系统的控制水平。设备级控制中，每台冷水机组配备一台专用的优化控制器，优化控制器根据负荷需求和冷水机组设备特性曲线调整运行策略，并基于机器学习对策略进行持续优化调整^[4]。系统级优化控制采用分层控制架构，分别是现场级、优化决策级和能源管理级。最底层的现场级控制负责设备数据读取与运行，中间层级的优化决策层根据负荷预测模型和能效模型生成优化策略，而顶层的能源管理层则对冷站运行的能耗进行监测、分析预判能源消耗趋势并生成报表以及对设备进行故障诊断以调整控制策略。系统还可引入负荷预测控制技术，通过对历史负荷数据的分析并结合外部数据源提供的天气状况以及建筑使用状态等负荷影响因素预测系统负荷可能的走势，提前规划并制定冷站机组的启停节点和不同时段运行参数，进一步提升暖通空调系统整体能效水平。

3.3 余热回收与热泵技术集成应用

余热回收是改善系统能效的常见措施。如在在冷水机组冷凝器出口处增加板式换热器来回收冷凝热预热生活热水，在夏季高峰期常能覆盖建筑生活热水负荷的

15% ~ 30%，其余时间如过渡季节可使用空气源热泵承担。目前空气源热泵 COP 可高达 4.0，相比传统电加热节约 75% 的能耗。设计系统时可以考虑将热泵与冷水机组组合运行，当两者均参与供冷供热时，可以节能及提高一次能源的利用率。余热回收装置设计应充分保证运行期间的安全，以防余热回收装置故障影响主机运行。具体措施包括增加旁通管路和自动切换阀门，在系统检测到预热回收装置出现故障时及时进行切换。

3.4 可再生能源集成与分布式供能

目前国内光伏发电系统发展势头迅猛，配合适当的储能系统可以满足空调机组辅助设备的用电需求。光伏系统应配置智能逆变器，具备防孤岛和低电压穿越功能。为了提升光伏发电的使用效率，在光伏系统中锂电池储能装置，在光伏发电量较多的时段存储多余电量，在用电高峰时段输出，用于削峰填谷。储能还可以作为备用电源，以提供可靠的设备供电^[5]。光伏储能系统能量流动示意图如图 2 所示。

该系统的运行可由能量管理系统(EMS)进行最优调度，EMS 可以根据电价机制、光伏电量预测、负载用电需求等进行能源最优化利用，峰电时段以光伏和储能电量优先，谷电时段从电网购电并为储能充电。

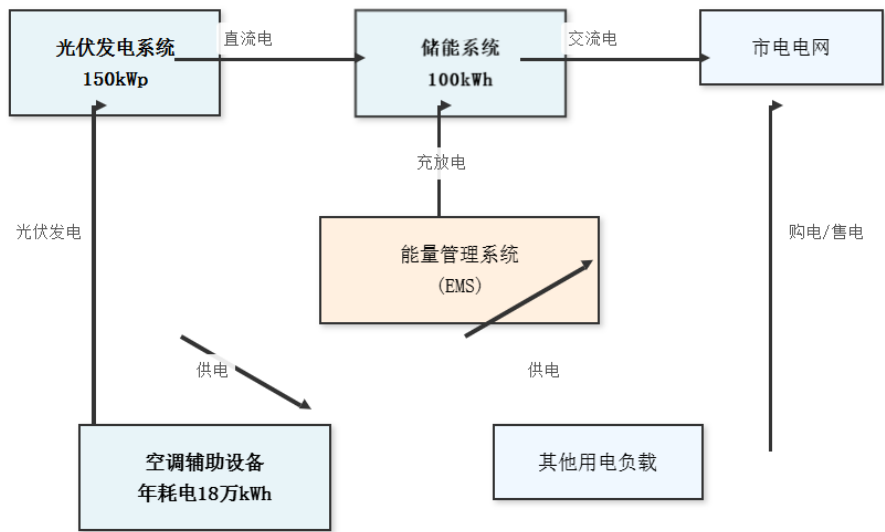


图 2 光伏储能系统能量流动示意图

4 改造工程实施与运行效果验证

4.1 改造工程施工组织与质量控制

为减少工程施工对运行系统的干扰，可采取按分区分步的施工方法。在施工组织上采取“先外围后核心部位、先附属后主体”的原则。工程质量管理应遵循设计、材料设备、施工和系统调试“全过程”控制的原则。施工过程的重点环节如：管道焊接、设备安装、电缆线束的敷设，应有详尽的

作业指导书。特别要注重施工过程中新旧设备改造交接的施工程序和风险控制，提前制定周密的施工方案。对建筑现状准确建模，以便利用 BIM 技术在设计阶段对管道设备进行碰撞检查，减少和避免现场的更改和调整。详细设计大型设备装拆的吊装方案，减少拆除旧设备对建筑物的破坏，降低大型设备在就位过程中的安装误差，避免可能的返工和新增维修工作。采用激光对中仪等措施安装水泵电机，以消除因对中不良引起的设备振动问题，降低工作时的噪声。

4.2 系统调试与性能测试

系统调试通常分为单机、联动和试运行3个阶段。改造项目的单机调试新建项目相似，主要检测运行参数是否达到技术文件给定要求。联动调试检测各个系统间运行配合情况，对于改造项目要特别关注新旧设备设施的配合情况，应特别关注管道系统安装产生的附加应力对设备运行的影响。试运行阶段要关注新旧系统数据传输、信号干扰和管道液击现象。要保证足够的试运行时间，完整测试系统在不同工况下的制冷量、能耗、COP等指标的运行技术状态。因为就有系统的影响，改造项目的试运行调试往往比新项目更为复杂，调试期间碰到问题应多加分析，谨慎采取整改措施，避免影响对故障或状态偏离原因的准确判断。

4.3 运行监测与数据分析

改造后应建立长期运行监测制度对改造后系统运行进行监测。新系统与旧系统之间的协调性对系统运行效率和稳定性影响较大，发生故障时分析处理也更为复杂和困难。通过建立监测制度能够更为方便迅速地发现问题，有效提升系统运行参数和能耗知道的稳定性。

4.4 经济效益评估与环境影响分析

改造项目应综合考虑总投资、设备购置、工程费用、调试费用、运行期能耗情况等多方面因素，综合考虑设备折旧、运行维护成本以及政府补贴等因素来计算本项目生命周期经济效益。在环境效益方面，提升能效水平能够减少碳排放，同时减少了制冷剂的泄漏、臭氧层损耗和城市热岛效应等环境问题。

5 结语

既有建筑暖通空调系统的节能改造是建筑行业实现碳达峰与碳中和的重要途径。本项目采取了系统化调查、精细化设计、严格化施工的技术路线，实现了既有建筑暖通空调系统能效的大幅度提升。改造实践证明，采用变频技术、自动控制、余热回收以及新能源等技术，利用信息技术和计算机技术对既有系统进行充分有效利用，更重要的是根据建筑的特点选择合适的技术，提高系统的集成度，重视过程管控。未来既有建筑改造应加强全寿命周期内的经济性与实用性分析，研究合同能源管理等新商业模式，进一步扩大先进技术的应用范围。未来既有建筑暖通空调系统改造中，通过引入智能化、网络化、信息化技术，将使既有建筑暖通空调系统改造取得更大的发展。

参考文献

- [1] 陶生辉. 既有建筑绿色改造暖通空调自评估要点与评价分析[J]. 全面腐蚀控制,2024,38(06):115-118.
- [2] 辛亚娟,杨帆,张子正. 城市更新背景下既有商业建筑暖通空调系统改造设计策略分析[J].暖通空调,2024,54(S1):421-424.
- [3] 张天睿,杨辰,杨静. 既有公共建筑暖通节能及绿色改造现状分析[J].科技与创新,2024,(05):166-168.
- [4] 贾珍. 既有建筑项目的节能改造分析[J].建筑施工,2019,41(12):2269-2271.
- [5] 孟冲,王清勤,朱荣鑫,等. 既有建筑暖通空调系统绿色改造综合评价[J].煤气与热力,2016,36(03):17-21.