

A Case Study on the Energy-saving Retrofit of a Lithium Bromide Air Conditioning System in a Large Shopping Mall

Xiujie Zhao

COFCO Jianyuan Food Technology (Beijing) Co., Ltd., Beijing, 102209, China

Abstract

This article conducts a systematic study on an energy-saving renovation case of the central air conditioning system of a large commercial building. The case involves replacing an existing lithium bromide absorption air conditioning system with an electric refrigeration compression air conditioning system, along with comprehensive energy-saving renovations to the distribution system and control system. This article primarily analyzes the preparation ideas for the technological plan during the renovation process, as well as the comprehensive effects and energy-saving benefits before and after the renovation. By comparing the operating parameters, energy consumption data, and maintenance costs before and after the renovation, it evaluates the differences between the two air conditioning systems in terms of cooling efficiency, operational stability, ease of maintenance, and environmental impact. The air conditioning effect in the shopping mall was completely improved, and customer and merchant satisfaction reached an all-time high. The coefficient of performance (COP) of a single unit increased from about 0.75 to 6.2, an increase of approximately 727%; the comprehensive energy efficiency ratio (EER) of the energy station rose from 0.5 to 4.8, an increase of about 860%. In terms of energy consumption, the annual electricity usage decreased from about 12 million kWh before the renovation to 10.8 million kWh, achieving a power saving rate of about 10%. According to the project's self-evaluation report, the EER of the renovated system stabilized between 4.8 and 5.2, resulting in annual energy cost savings of approximately 3.08 million yuan and a reduction in carbon dioxide emissions of about 1,670 tons per year, with the overall effect exceeding the research objectives.

Keywords

lithium bromide air conditioning system; energy-saving renovation; energy efficiency improvement.

某大型购物中心溴化锂空调系统的节能改造案例研究

赵秀杰

中粮健源食品科技（北京）有限公司，中国·北京 102209

摘 要

本文对某大型商业建筑的中央空调系统的一项节能改造案例进行了系统性研究，案例将既有溴化锂吸收式空调系统改为电制冷压缩式空调系统，并对输配系统、控制系统做了综合节能改造，本文主要分析了改造过程中的技术方案的编制思路及改造前后的综合效果和节能效益，通过对比改造前后的运行参数、能耗数据和维护成本，评估了两种空调系统在制冷效率、运行稳定性、运维便利性及环境影响等方面的差异。结果显示，改造后，商场空调效果彻底改善，客户和商户满意度达到历史最高，单机制冷性能系数（COP）由原来的约0.75提升至6.2，效率提高约727%；能源站综合能效比（EER）由0.5提升至4.8，增幅约860%。在能耗方面，全年用电量由改造前的约1200万千瓦时降至1080万千瓦时，节电率约10%。根据项目自评价报告，改造后的系统EER稳定在4.8-5.2之间，年节约能源费用约308万元，二氧化碳年减排量约1670吨，整体效果超过可研目标，不仅改善了室内舒适性，也实现了节能减排与经济效益的双重提升。此外，改造还实现了手动控制到自动控制，为物业管理带来了长期的便利。此研究为类似大型公共建筑项目在既有建筑节能改造提升方面提供了成功的案例参考和探索经验。

关键词

溴化锂空调系统；节能改造；能效提升；智能控制；全过程管理

1 引言

大型购物中心空调系统是商业经营必不可少的系统，

总能源成本约占运营成本的 30%-50%，空调能源成本占总能源成本的 30-50%，空调系统好坏影响顾客和商户体验，也决定着运维能源成本。在国务院 2035 年碳达峰、2050 年碳中和双碳目标下，对大型商业购物中心的能源与控制系统进行升级，不仅具有节能降耗、体验提升的经营价值，更具有推动绿色低碳转型的社会价值。溴化锂吸收式中央空调因其可

【作者简介】赵秀杰（1980-），男，中国山东临朐人，硕士，工程师，从事能源应用与改造，空调采暖工程等研究。

采用废热余热制冷制热,在国内大型公共建筑中一度曾有广泛的应用,但由于吸收是空调系统物理原理决定,需要真空运行,对设备制造和安装要求很高,往往在使用过程中存在真空保持困难,效率衰减严重,制冷效果不佳和维护复杂等问题,难以满足现代商业建筑舒适性与节能性的双重高标准要求。电制冷压缩式系统,尤其是电驱动变频离心机组、变频螺杆机组在设备效率、运维简便、制冷效果稳定和智能控制效率方面具备系统性优势,成为既有建筑溴化锂空调系统节能改造的重要方向。国内某大型商场项目溴化锂中央空调系统已运营8年,性能衰减严重,笔者主持了该项目空调系统的节能改造,改造过程采用系统化思维,通过深入测量调查,制定了合理的改造目标和系统化改造方案。改造目标为空调效果提升兼顾节能运行和运维自动化升级。改造方案为:将原溴化锂系统更换为高效电制冷空调系统;对空调输配系统进行了系统的改造提升;引入了智能能耗监测与控制平台。

改造完成后该项目实现了空调效果、冷站性能和管理便利三大提升,空调效果良好,能源费用大幅节降,控制系统实现了自动化运行,减碳社会效益显著,为类似大型商业建筑节能改造提供了成功的案例参考。

2 项目案例概述

研究案例为国内某大型商场,建筑面积24万平米,商业面积13.5万平米,开业时间为2014年5月,已运行10年,空调系统为溴化锂吸收式中央空调系统,冬季供冷,夏季供热,装机容量21102KW,共有4台1500TR的溴化锂燃气直燃机组和4台120KW冷冻泵、4台160kW冷却泵、4台冷却塔组成,因溴化锂系统运营管理复杂,改造前4台直燃机组2台发生故障不能正常使用,由剩余2台直燃机组供冷供热,供冷期间期间夏季空调效果不佳,室内高楼层最高30℃以上,已严重影响商场正常运营。

3 技术原理

3.1 冷热源系统原理

目前商业建筑中央空调常用的系统按物理原理可分为溴化锂吸收式制冷和电制冷两类系统,溴化锂吸收式制冷系统利用水作为制冷剂、溴化锂溶液作为吸收剂:发生器加热溴化锂溶液使水蒸发,蒸气在冷凝器冷却成液态水,经节流进入蒸发器吸热气化,将蒸发器内空调水制冷,产生的水蒸气被吸收器内的溴化锂溶液吸收,稀溶液循环回发生器,通过换热器提高系统效率,循环往复,实现连续制冷。

而电制冷压缩式系统是通过电力驱动压缩机使冷媒发生相变进行制冷循环,即压缩机将蒸发器中低温低压的气体冷媒压缩为高温高压气体,经冷凝器散热液化,热量经冷却塔通过冷却水排到室外。冷媒再经过节流装置在蒸发器蒸发为气体,蒸发过程中大量吸热,使冷冻水降温,完成制冷循环,具体原理如图2所示。

两种制冷方式的物理原理决定了电制冷系统在冷媒效率、能源利用率、管理复杂性方面对比溴化锂吸收式系统均具有明显的优势^[1]。

3.2 控制系统原理

目前空调系统的控制主要有两种:PLC控制和DDC控制。

PLC(Programmable Logic Controller 可编程逻辑控制器)是一种以逻辑运算为核心功能的工业控制系统,一般通过开关量及少部分模拟量信号实现设备的启停、状态检测及逻辑连锁等功能,PLC根据设计好的控制程序对输入信号进行逻辑判断,并输出相应的控制指令。PLC控制结构稳定、抗干扰性强,逻辑运算可靠性高,能够很好地完成设备的启、停、顺序控制及连锁保护等功能,但PLC系统需要现场编程操作,实施过程不够简单直观,运营维护不够方便。

DDC(直接数字控制系统)直接通过现场传感器参数采集(如机组的温压流量等)数据,在控制模块内与设定参数值进行计算比较,通过算法计算出控制指令,再通过控制器驱动元件(如阀门、变频器)完成控制(如阀门调节),完成精确地反馈控制。DDC暖通控制设备模块化程度高、与通信集成度高、安装测试操作方便,广泛应用于暖通楼宇控制系统中,可方便实现系统EER、单机COP等数据计算、自动记录与远程控制功能,相比PLC系统,更适合暖通空调系统改造。

4 改造过程和效果

4.1 改造前现状调查分析

改造项目团队邀请了具有丰富行业经验的建筑节能咨询专家团队对购物中心进行了空调系统的实况调研,包括机房设备、控制系统运作和日常运行维护等相关情况。调研工作采取多点、多次的量化测量,对空调水的流量、水温、水压、水阀开度和能耗等关键指标进行分点、分时段的检测和持续监测。调研发现部分水泵、传感器和水阀出现故障,现场建设期安装的自力式水力平衡设备和通风设备对稳定系统的运作产生了负面影响^[2]。团队也充分调研了历史运行相关数据,以便在改造方案设计时可以基于科学的量化资料作出针对性改造方案。

4.2 改造方案制定

经系统调查并结合历史运营数据分析,该项目存在以下问题:1.原溴化锂直燃机组老化性能衰减明显、制冷效率低,年均耗气量大、运行费用高,冷站综合性能系数及水泵输配系数较差;2.群控BA系统瘫痪仅依靠人工操作,无法依据负荷变化实现自动调节;3.冷却水泵选型偏大且为定频导致水力系统失衡输配效率差;4.空调水系统中的自力式动态平衡阀及风柜回风机功能冗余增加了末端多余的阻力;5.末端传感器、执行器、控制器缺漏及损坏致使数据采集困难;6.表计设置不合理,无法取得合理数据等特点。改造方

案就针对以上问题分别从冷源、输配、末端、控制上进行系统的改造,实现舒适、高效、智能、简便的改造目标^[3]。具体改造方案如下:

(1) 制冷系统改造: a. 对建筑重新建模进行空调负荷计算并绘制负荷延续图(图4所示),确定了合理的装机容量; b. 将2台1500TR溴化锂吸收式制冷机组,替换为2台1200TR制冷效率更高的离心式电制冷机组(选型如图5所示); c. 重新计算校准冷冻水和冷却水流量扬程,替换原有空调冷冻泵、冷却泵; d. 加装冷却塔水力平衡器,新增智能布水喷嘴; e. 加装能量计量表具。

(2) 空调末端与控制系统改造: a. 拆除原有空调机组上的二级回风机; 2. 移除水系统自力式平衡阀; b. 安装部分电动风阀、电动水阀; c. 群控系统PLC系统改造为DDC控制系统,升级原有已瘫痪的DDC楼宇BA控制控制系统。

(3) 系统调试优化: 针对改造后的整套空调冷热源系统、输配系统、散热系统、风系统进行单机调试和系统联调及舒适度调适^[4]。

(4) 能源管理系统(EMS)

构建能管平台,对冷站总用电量、总制冷量、总耗电量,冷站综合COP、单机cop、水泵、冷塔输配系数进行计算和管理,对运行参数和能耗数据进行记录。

改造团队组织专业设计单位根据上述改造方案编制了施工图纸和工程量清单及其他设计文件实现了工程量招标。施工单位进场后,项目团队克服设备运输、拆装及系统改造过程中的各种困难,完成了各项改造,并配套完成了能源管理平台的部署。经过主机、风、水、控制、能源管理系统系统化调试后,新电制冷空调系统已经过2个制冷季整体运行稳定,各项参数符合设计要求。本文在完成了改造成工作并经过2个完整的制冷季实际运行后,对改造前后的运行情况进行了对比分析,验证了改造成效和节能优化与智能化升级的实际效果^[5]。

4.3 改造前后效果对比

该项目空调系统系统化改造后,在空调效果上,室内空调效果达到了国内规范要求,夏热时各楼层温度不超过26℃,冬寒时各楼层温度不低于20℃,室内舒适度大幅改善,室内舒适度大幅提升,从根本上解决了原空调系统制冷效果不足问题,能满足大型活动及运动业态的舒适需求,客户舒适度明显提升,改造后商场商户及顾客对于室内环境满意度提升幅度创历史新高,且商场整体租赁率、客流量较改造前均有显著提升,保障了商场正常的商业运营及招商业务的开展;在能效方面,电制冷主机取代直燃机组后,系统实现了负荷自适应的变频控制,系统综合能效比(EER)高于项目可研预期,在4.8-5.2,对比改造前0.7的水平,提升较大,节能效果显著;能耗方面,通过对冷水机组、水泵、冷却塔水力平衡以及智能布水系统的节能改造,降低风阻、降低水阻,

改造后全年可节能节约308万元,节省标准煤约407.5吨,减排二氧化碳约1670吨,实现了显著的经济效益和社会效益;从管理便利性方面,项目改造前为物业手动管理运行,改造完善了群控系统和BA系统,搭建了能源管理平台,实现了空调主设备运行参数、末端舒适状态和能耗能效数据在线自动化管理,实现了该项目暖通系统管理的数智化转型;成本控制方面,因方案合理,施工管控高效,项目结算实投较立项预算低10%,节能收益显著,计算总和投资回收期2.98年^[6]。

5 结语

既有建筑节能改造不是单纯的工程技术改造,更是对管理理念和项目实施体系的综合提升,本文对某商业综合体的空调系统做了冷热源、输配系统、散热系统、空调风系统、群控和BA系统做了系统性节能改造,搭建了能源管理系统。改造团队通过科学的前期策划,合理的方案设计,高效的施工及精细的调试优化管理,取得了空调效果提升达到规范要求、冷站综合能效系数(EER)4.8以上,运行管理实现数智化三大成果,改造当年实现燃气成本节降308万元,案例入选国资委2024年度深化改革成果小微案例。本改造项目通过DDC空调楼宇控制系统的改造和能效能源管理平台的建设实现了该既有购物中心暖通空调系统运行参数的可视、可控、可调、可存,构建了本项目的建筑设备参数和能耗能效数据库,为将来的数据分析、数据治理、人工智能应用等奠定了数据基础。在实现国家2035碳达峰2050碳中和“双碳目标”和当下全面推进城市更新的大背景下,本案例的改造实践将既有建筑节能改造和智慧建筑能源管理做了有机结合,取得了显著的经济效益和社会效益,对商业综合体建筑节能改造和能耗管理具有较大的推广和示范价值。未来既有建筑节能改造必将以系统化、智慧化为主要方向,以技术手段和管理提升融合为绿色节能和经济效益统一的核心理念目标,促进建筑节能行业高质量发展。

参考文献

- [1] 潘尤贵,高晴,林鑫.杭州某大型商业综合体空调设计[J].暖通空调,2023,53(11):87-91.
- [2] 李燕开.大型商业综合体空调系统设计研究探讨[J].智能建筑与工程机械,2024,6(6):120-122.
- [3] 尤洪涛.大型购物中心暖通空调安装工艺质量控制研究[J].设备管理与维修,2024(2):158-160.
- [4] 李增财.大型商业综合体暖通空调节能设计要点——以上海市泗泾地铁站某项目为例[J].空中美语,2023(8):1007-1009.
- [5] 李海余.商业综合体暖通空调改造设计研究[J].地产,2023(5):0033-0036.
- [6] 葛虹,黄磊.大型商业综合体通风空调设计心得[J].暖通空调,2023,53(S01):65-67.