

中央空调制冷系统节能改造

官 凯

丹佛斯(天津)有限公司 天津 301700

摘 要: 本文围绕中央空调制冷系统节能改造展开研究,分析系统核心构成、能耗现状及核心痛点,结合国家建筑节能标准与“双碳”政策要求,提出冷热源端、输配系统、控制系统的针对性改造技术路径,明确方案设计原则与流程。通过商业综合体改造案例验证,改造后系统节能率达26%,主机COP值提升至5.2,年节约电费16万元,兼顾经济效益、环境效益与运营效益,为既有中央空调制冷系统节能改造提供实践参考与技术支撑。

关键词: 中央空调; 制冷系统; 节能改造

引言: 随着“双碳”战略推进与建筑节能要求提升,中央空调作为建筑能耗核心,其制冷系统能耗占建筑总能耗40%-60%,大型公建占比更高,设备老化、选型错配、控制滞后等问题导致能源浪费严重。当前,国家出台多项政策支持节能改造,推广高效节能技术与设备。基于此,本文结合理论分析与实践案例,探索科学可行的节能改造路径,解决系统能效不足难题,助力建筑领域碳减排与能源高效利用。

1 中央空调制冷系统相关理论与能耗现状分析

1.1 中央空调制冷系统核心构成与工作原理

(1) 制冷主机是核心设备,主要分为螺杆式、离心式、磁悬浮变频式等类型,工作机制是通过压缩机压缩制冷剂,经冷凝、节流、蒸发过程实现热量转移,提供冷量。其能效受制冷剂类型、压缩机效率、换热效果及运行负荷影响,老旧机组能效衰减明显,变频机型更适配负荷波动场景。(2) 输配系统承担冷量输送功能:冷冻泵输送冷冻水至末端,冷却泵将冷却水送至冷却塔散热,冷却塔实现热量室外排放。该系统能耗占制冷系统总耗电的20%-40%,定速泵长期额定运行、冷却塔散热效率衰减会造成大量无效能耗。(3) 末端系统通过风机盘管等设备向室内供冷,控制系统调度各设备协同运行。控制系统的先进程度决定能效上限,滞后的控制策略无法适配动态负荷变化,会导致系统综合能效下降20%以上。

1.2 中央空调制冷系统能耗现状及核心痛点

(1) 既有中央空调系统能耗占建筑总能耗的40%-60%,大型公建占比更高,能耗主要集中在制冷主机和输配系统,约占系统总能耗的90%以上,且运行时段能耗波动大,高峰负荷期能耗显著上升。(2) 能耗浪费主要表现为:设备老化导致能效衰减,运行超8年的机组COP值下降23%;选型错配出现“大马拉小车”现象,部分负荷运行时能效骤降;控制滞后无法响应负荷变化,非

生产时段无效运行突出。(3) 不同建筑类型能耗差异明显:商业建筑(如购物中心)能耗最高,达200-300kWh/(m²·年);工业建筑受生产负荷影响,能耗波动大;公共建筑能耗居中但运行时间长。共性问题均为设备能效不足、系统协同性差、运维粗放^[1]。

1.3 中央空调制冷系统节能改造相关标准与政策依据

(1) 国家及地方建筑节能标准明确要求,既有公共建筑改造后整体能效提升20%以上,冷水机组等核心设备需达到对应能效等级,严禁使用低效落后机型,同时规范系统换热效率和运行参数。(2) “双碳”战略下,国家出台政策支持节能改造,包括财政补贴、税收减免等激励措施,推动既有建筑节能改造规模化,鼓励推广高效节能设备和智能调控技术,助力建筑领域碳减排。(3) 行业规范明确改造技术、施工及验收要求,制定《中央空调系统节能改造技术规范》等标准,要求改造前进行能效诊断,施工中保障设备安装合规,验收时重点检测系统能效及运行稳定性,确保改造效果达标。

2 中央空调制冷系统节能改造技术路径与方案设计

2.1 冷热源端节能改造技术

(1) 高效主机替换与升级是冷热源端节能的核心手段,优先选用磁悬浮变频离心机组、变频螺杆机替代老旧低效机组。其中磁悬浮变频离心机组无油运行、能耗低,COP值可达6.0以上,较传统机组节能30%左右,适合大型公建、商业综合体等冷负荷需求大的场景;变频螺杆机适配中小负荷建筑,运行稳定性强,能根据冷负荷波动自动调节转速,避免无效能耗,可广泛应用于写字楼、工业厂房等场所。(2) 针对原有主机未达报废标准的情况,可通过核心部件改造与定期维护提升能效。例如为传统定速主机加装变频模块,实现转速自适应调节,降低部分负荷运行时的能耗;定期对冷凝器、蒸发器进行清洗除垢,去除管路内积尘和水垢,减少换热阻

力,可使主机能效提升10%~15%;同时检查压缩机、节流装置等核心部件,及时更换老化零件,延长设备使用寿命并维持高效运行状态^[2]。(3)推进环保制冷剂替代,用R134a、R410A等环保型制冷剂替换传统高GWP制冷剂,既符合环保要求,又能提升换热效率。结合余热回收技术集成应用,将制冷系统运行过程中产生的余热回收利用,用于建筑生活热水供应、冬季采暖等,实现能源梯级利用,进一步降低整体能耗,提升系统综合能效。

2.2 输配系统节能优化技术

(1)水泵、风机变频改造是输配系统节能的关键,将传统定速水泵、风机替换为变频设备,搭配变频控制器,实现设备运行转速与实际负荷动态匹配。当冷负荷下降时,自动降低转速,减少电机输出功率,可使水泵、风机能耗降低20%~40%,同时避免设备长期额定运行造成的能源浪费,适配建筑冷负荷昼夜、季节波动特点。(2)开展管网系统优化,对老化、堵塞的管路进行改造,更换管径不合理的管道,减少管路沿程阻力和局部阻力;对管道、阀门等部件进行保温升级,采用高效保温材料,降低冷量损耗,避免因管道散热导致主机负荷增加;同时清理管网内杂物,优化管路走向,提升冷量输送效率,降低输配系统整体能耗。(3)实施冷却塔高效化改造,更换老化、破损的填料,选用高效亲水填料,提升散热效率;优化布水系统,调整布水均匀性,避免局部散热死角;加装智能控制系统,根据环境温度、冷却水温度自动调节冷却塔风机转速和运行台数,避免无效运行,可使冷却塔散热效率提升15%以上,间接降低冷却泵和主机能耗^[3]。

2.3 控制系统智能化改造技术

(1)搭建智能控制系统,打破主机、输配设备、末端系统各自独立运行的格局,实现全系统联动控制。通过中央控制器统筹调度各设备运行,根据室内外环境参数、建筑冷负荷需求,自动调节主机运行台数、水泵风机转速、末端供冷量,确保系统始终处于最优运行状态,提升整体能效。(2)合理部署温度、湿度、流量、能耗等各类传感器,构建完善的数据采集体系,实时采集系统运行参数和能耗数据,建立能耗监测平台。通过平台实现能耗数据可视化展示,同时设置能耗预警机制,当设备运行异常、能耗超标时及时发出预警,便于运维人员及时排查故障,减少能源浪费^[4]。(3)引入AI算法与数字孪生技术,基于采集的历史能耗数据和实时运行数据,通过AI算法精准预测冷负荷变化,优化设备运行参数;利用数字孪生技术构建制冷系统虚拟模型,模拟不同改造方案的运行效果,为节能改造提供数据支撑,同时实现系统运行状态的实时监控和故障预判,进一步提升系统

能效和运维水平。

2.4 节能改造方案设计原则与流程

(1)方案设计需遵循经济性、可行性与长效性三大原则。经济性原则要求兼顾改造投入与节能收益,优先选用性价比高、回收期短的改造技术;可行性原则需结合建筑实际情况,考虑场地、资金、施工条件等因素,确保改造方案可落地实施;长效性原则要求改造后系统能长期稳定运行,具备持续节能效果,同时预留后期升级空间。(2)改造方案具体流程分为三步:首先进行现状诊断,通过检测设备能效、采集能耗数据、分析系统存在的问题,明确改造重点和节能潜力;其次进行技术选型,结合诊断结果和建筑负荷特点,选择适配的节能技术和设备,兼顾节能效果与经济性;最后编制详细方案,明确改造内容、施工进度、技术标准、投资预算和预期节能效果^[5]。(3)方案优化需结合建筑实际负荷与使用场景调整参数,例如商业建筑需考虑人流波动导致的冷负荷变化,优化控制系统响应速度;工业建筑需结合生产工艺,调整主机运行时段和负荷分配;公共建筑需兼顾节能与舒适度,优化末端供冷参数。同时通过模拟运行、参数调试,不断优化改造方案,确保达到预期节能目标。

3 中央空调制冷系统节能改造案例分析

3.1 案例概况

(1)本案例为某城市核心商圈大型商业综合体,建筑总面积8.2万m²,主要功能为商场、餐饮及配套办公,属于高冷负荷商业建筑。改造前制冷系统配置为3台传统螺杆式冷水机组(COP值3.8~4.0),输配系统采用定速冷冻泵、冷却泵各4台,冷却塔3台(填料已使用8年),末端为风机盘管+新风系统,控制系统为传统手动调控模式,整体系统已稳定运行10年,设备老化迹象明显。(2)改造前系统运行现状不佳,能耗居高不下,经统计年制冷耗电量约128万kWh,占建筑总耗电量的58%;核心问题突出:一是主机老化导致能效衰减,部分负荷运行时频繁启停,能耗浪费严重;二是定速输配设备无法适配冷负荷昼夜、季节波动,长期额定运行耗电量偏高;三是控制系统滞后,设备协同性差,且冷却塔填料老化、布水不均,散热效率不足,进一步增加主机负荷。(3)改造目标明确:实现制冷系统整体节能率 $\geq 25\%$,主机COP值提升至5.0以上;优化系统运行稳定性,降低设备故障发生率和运维成本;预期年节约电费 ≥ 15 万元,改造投资回收周期严格控制在4~5年,同时减少碳排放量,提升建筑能源精细化管理水平。

3.2 案例改造方案实施过程

(1) 结合商业综合体冷负荷大、波动频繁、需保障正常运营的特点,细化改造技术选型:冷热源端替换1台传统螺杆机为磁悬浮变频离心机组,对剩余2台机组加装变频模块并清洗冷凝器、更换老化节流部件;输配系统将所有定速泵替换为高效变频泵,优化管网走向并升级保温材料;冷却塔更换高效亲水填料并加装智能控制模块;控制系统搭建中央智能调控平台,实现主机、输配设备、末端系统联动控制。(2) 施工组织采用分区域、分时段施工模式,避开商场营业时间(主要在夜间及凌晨施工),合理规划施工进度,总工期控制在45天;质量管控方面,严格把控设备进场验收、安装精度及调试流程,确保各设备运行匹配;安全措施上,划定专属施工区域,做好安全防护,配备专业安全员全程值守,杜绝施工安全隐患和设备损坏问题。(3) 改造过程中的难点主要为施工与商场运营冲突、旧设备拆除难度大及系统联动调试复杂。解决措施:优化施工时段,减少对商户和顾客的影响;配备专业拆除设备,规范拆除流程,避免损坏建筑结构和周边设施;组建专业调试团队,分阶段调试各系统,逐步实现全系统联动,确保调试达标后投入使用。

3.3 改造效果检测与分析

(1) 改造前后能耗数据对比显著:主机COP值从改造前的3.9提升至5.2,EER值提升33%;年制冷耗电量降至94.7万kWh,较改造前减少33.3万kWh,实际节能率达26%,超额完成预设目标;输配系统耗电量较改造前下降38%,冷却塔散热效率提升18%,系统整体运行效率大幅提升。(2) 节能效益与经济效益突出:按当地商业用电单价0.48元/kWh计算,年节约电费约16万元,较预期目标超额1万元;改造总投资78万元,经核算投资回收周期

约4.9年,符合预期4-5年的目标,长期运行可持续产生稳定的节能收益,降低运营成本。(3) 环境与运营效益显著:年减少碳排放量约266吨,助力建筑领域碳减排,契合“双碳”战略要求;智能控制系统实现无人值守,运维人员工作量减少40%,设备故障发生率下降60%,系统运行稳定性大幅提升,同时室内温湿度控制精度提高,舒适度得到改善,进一步提升了商业综合体的运营品质和竞争力。

结束语

中央空调制冷系统节能改造是一项系统性工程,需兼顾技术可行性、经济性与长效性,通过冷热源端升级、输配系统优化、控制系统智能化改造,可有效解决能耗偏高、运行低效等痛点。案例实践表明,合理的改造方案能实现显著节能效果,降低运营成本,契合“双碳”战略要求。未来需持续优化改造技术,结合AI、数字孪生等新技术,推动制冷系统节能水平提升,为建筑绿色低碳发展注入持久动力。

参考文献

- [1]白亚梅.中央空调系统节能改造设计[J].电子世界,2021,(6):162-163.
- [2]宋清弟.“双碳”目标下中央空调节能改造与设计[J].能源与节能,2024,(2):84-92.
- [3]刘丙刚,贾丕建,王博.中央空调制冷系统节能改造[J].能源研究与利用,2020,(6):46-48.
- [4]刘宝君.空调制冷不足的故障分析与排除策略探讨[J].设备管理与维修,2020,(8):73-74.
- [5]刘帅.节能技术在中央空调系统中的应用研究[J].机电信息,2020,(11):82-83.