

# 探讨暖通空调与暖通空调设计的优化

张家树

中城院(北京)环境科技股份有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 随着建筑能耗问题日益凸显,暖通空调系统的优化设计成为节能降耗、提升室内环境质量的关键。本文从系统基础理论出发,剖析冷热源、输配系统、末端设备及控制系统的协同机制,针对传统设计方法的局限性,提出多目标协同优化框架、基于仿真的参数化设计、智能算法应用及全生命周期成本分析等优化方法,并探讨关键技术优化路径,最后分析当前挑战与未来人工智能、零碳能源等技术的发展趋势。

**关键词:** 暖通空调;暖通空调设计;优化

引言:在全球能源危机与“双碳”目标背景下,建筑能耗占比持续攀升,暖通空调系统作为建筑能耗大户,其设计与运行效率直接影响能源利用与环境质量。传统设计方法因过度依赖经验、动态响应不足及忽视全生命周期成本等问题,已难以满足现代建筑对节能性、舒适性与经济性的综合需求。因此,如何通过技术创新实现暖通空调系统的优化设计,成为行业亟待解决的核心课题。

## 1 暖通空调系统基础理论

### 1.1 系统组成与工作原理

(1) 冷热源为系统提供核心冷热能量,是温度调节的基础;输配系统通过管道、风机等设备实现能量的传输与分配,搭建起能量输送的通道;末端设备直接与室内环境交互,完成冷热交换以调节室内温湿度;控制系统则依据环境参数反馈,实时调控各模块运行状态。(2) 二者形成闭环协同机制,冷热源输出能量经输配系统送达末端,控制系统精准感知室内环境变化,动态调整冷热源出力、输配速率及末端运行模式,确保室内环境稳定。

### 1.2 关键性能指标

(1) 能效比(EER/SEER)衡量制冷系统能量转换效率,EER适用于定速运行,SEER针对变工况运行,数值越高能效越好;COP即性能系数,聚焦系统有效输出能量与输入能量的比值,是评估冷热转换效率的核心指标。(2) IPLV为部分负荷性能系数,贴合实际运行中系统多处于部分负荷工况的特点,更精准反映实际能效水平;PMV-PPD舒适度模型通过量化人体热感觉(PMV)和不满度(PPD),科学评估室内热环境舒适度,为系统设计提供人体感受层面的依据<sup>[1]</sup>。

### 1.3 传统设计方法的局限性

(1) 过度依赖经验参数,设计过程中多参照过往项目数据,未充分考量建筑个体差异、气候波动等个性化因素,易导致设计方案与实际需求脱节。(2) 动态响应

不足,设计多基于静态工况计算,忽视室内人员流动、设备启停等动态负荷变化,系统运行时难以快速适配负荷波动,影响调节精度与能效。(3) 忽视全生命周期成本,传统设计侧重初始投资控制,未统筹考虑设备运行能耗、维护保养、后期改造等长期成本,导致项目全周期经济性不佳。

## 2 暖通空调设计优化方法

### 2.1 多目标协同优化框架

(1) 在目标函数构建上,以能耗最小化、热舒适最大化、成本最优化为核心导向;能耗最小化聚焦降低系统全生命周期能源消耗,减少能源浪费与环境碳排放;热舒适最大化以PMV-PPD舒适度模型为依据,确保室内人员获得稳定、适宜的热环境体验;成本最优化则统筹初始投资、运行维护、设备更新等全周期费用,避免单一阶段成本失衡。三者相互关联又存在一定博弈,框架需通过权重分配与协同求解,实现多目标平衡。(2) 约束条件是优化设计的边界前提,主要涵盖三类核心要素:建筑负荷约束需匹配建筑实际冷热负荷需求,避免设备选型过大或过小导致能效下降;设备容量约束基于设备技术参数与运行极限,确保优化方案在设备安全运行范围内;环境法规约束严格遵循国家及地方节能减排、环保排放相关标准,保障设计方案的合规性。

### 2.2 基于仿真的参数化设计

(1) CFD流体模拟技术重点应用于气流组织优化,通过构建建筑室内三维流体模型,仿真模拟不同送回风方式、风口布局下的空气流动轨迹、速度分布及温度场分布。借助该技术可精准识别气流死角、温度分层等问题,优化风口位置、尺寸及送风参数,确保室内气流均匀分布,提升热舒适体验的同时降低通风能耗。(2) EnergyPlus/DeST等动态能耗模拟工具则聚焦系统全周期能耗分析,区别于传统静态负荷计算,可结合建筑所在地气候参数、建

筑围护结构特性、室内人员及设备动态负荷变化,精准模拟不同设计方案下系统的全年能耗变化规律。设计人员可通过调整围护结构参数、设备选型、控制策略等变量,对比不同方案的能耗差异,筛选出能耗最优的设计方案,为节能设计提供数据支撑<sup>[2]</sup>。

### 2.3 智能算法应用

(1) 遗传算法、粒子群优化等智能优化算法在设备选型与布局中优势显著:针对多类型、多规格设备的组合选型问题,算法可通过模拟生物进化或群体协作机制,在海量选型方案中快速搜索最优组合,兼顾设备能效、投资成本与运行稳定性;在设备布局优化中,可结合建筑空间结构与负荷分布,优化空调机组、风机、管道等设备的安装位置,降低输配能耗,提升系统运行效率。(2) 强化学习算法则重点应用于动态控制策略的优化实践,通过构建智能控制Agent,让系统在与环境的交互过程中不断学习,实时感知室内负荷变化、室外气候波动等动态因素,自主调整设备运行参数与控制模式。例如,在中央空调系统控制中,强化学习可动态优化冷水机组出力、水泵转速、风机风量等参数,实现系统在动态工况下的高效运行,提升系统的自适应能力与节能效果。

### 2.4 全生命周期成本(LCC)分析

(1) 该分析模型涵盖初始投资、运行维护、设备更新三大核心成本要素,进行全周期、全方位的成本核算:初始投资包括设备采购费用、施工安装费用、系统调试费用等前期投入;运行维护成本涵盖设备运行能耗费用、日常巡检维护费用、备品备件更换费用等长期运营支出;设备更新成本则考虑设备使用寿命到期后的更换费用及旧设备处置成本。(2) 通过建立LCC综合评估模型,可将各阶段成本量化为现值,对比不同设计方案的全生命周期总成本,筛选出经济性最优的方案。例如,部分节能型设备初始投资较高,但运行能耗低、维护成本少,通过LCC分析可精准核算其全周期成本优势,为设计方案的决策提供科学的经济性依据,实现短期投资与长期效益的平衡<sup>[3]</sup>。

## 3 暖通空调设计关键技术优化路径

### 3.1 冷热源系统优化

(1) 地源热泵与空气源热泵的适用性需差异化匹配:地源热泵借助地下土壤恒温特性,能效比(COP)稳定且环保性突出,无室外机噪音污染,适合地下换热条件良好、水资源丰富的地区,但初始投资高、施工周期长,受地质勘察结果约束较大;空气源热泵安装便捷、初期投入低,适应性广,可快速部署,但其能效受室外温度影响显著,低温地区制热效率易衰减,需配套低温增焓或电

辅热装置。设计中需结合区域气候、投资预算及环保要求,择优选择或采用混合热源模式。(2) 冰蓄冷/水蓄冷技术通过峰谷电价差实现成本优化与电网削峰填谷:在电价峰谷差异显著的城市,利用夜间低谷电价时段制备冷量并储存,白天高峰电价时段释放冷量满足空调负荷,可降低30%-50%的制冷运行电费。设计需精准核算建筑冷负荷峰值与谷值时段分布,优化蓄冷装置容量、释冷速率及与常规制冷机组的联动策略,平衡蓄冷设备投资回收周期与长期电费节约效益,同时保障供冷稳定性。

### 3.2 输配系统优化

(1) 变流量水系统与变频水泵的协同应用可实现深度节能:传统定流量水系统无论末端负荷变化均维持恒定流量,水泵能耗浪费严重;变流量系统通过末端温控阀反馈信号,借助变频技术调节水泵转速,动态匹配末端水量需求,水泵能耗可降低40%-60%。设计中需合理设置压差旁通阀与流量监测装置,优化变频控制逻辑,避免系统在低负荷工况下出现水力失调。(2) 管道布局以压降最小化为核心设计目标:通过优化管道走向,减少弯头、三通、阀门等局部阻力部件数量,采用直线布置优先原则;精准计算管道管径,避免管径过细导致阻力过大或过粗造成材料浪费与空间占用;选用保温性能优异的管材与保温层,降低输送过程中的冷热量损失。同时需核算全管路阻力损失,确保水泵扬程精准匹配,提升输配系统整体能效<sup>[4]</sup>。

### 3.3 末端设备优化

(1) 辐射空调与对流空调的舒适性差异显著:辐射空调通过辐射换热调节室温,室内温度分布均匀、无吹风感,PMV-PPD舒适度指标更优,且运行安静、能耗较低,但降温/升温速度慢,对室内湿度控制要求严格,适合办公、住宅等对舒适度要求高的密闭空间;对流空调依靠空气对流换热,升温降温速度快、除湿能力强,安装维护便捷,成本较低,但存在吹风感明显、温度分层等问题,适合商场、车间等人员流动大、负荷波动快的开放空间。设计需根据空间功能精准选型,必要时采用“辐射+对流”复合系统。(2) 个性化送风技术通过分区控制提升舒适精准度:采用任务/背景分区控制模式,在人员活动核心区域(任务区)精准输送符合舒适需求的空气,维持温度24-26℃、风速0.2m/s以下的舒适环境;在非核心区域(背景区)维持基础温湿度,可降低20%-30%的送风能耗。设计需结合空间布局与人员分布,优化送风口位置、送风角度及参数,实现个性化舒适与节能的协同。

### 3.4 智能控制系统升级

(1) 基于物联网的实时监测与故障诊断系统可提升

运维精细化水平：在冷热源设备、输配管道、末端装置等关键部位部署温度、压力、流量、能耗等传感器，通过物联网将实时数据传输至控制中心；系统通过大数据分析识别参数异常，快速定位故障位置（如水泵故障、管道泄漏）并发出预警，减少人工巡检成本30%以上，降低故障停机时间，保障系统稳定运行。（2）模型预测控制（MPC）在负荷响应中的应用可提升调控精准度：通过构建系统动态模型，整合气象预报、室内人员流动预测、建筑负荷历史数据等信息，提前12-24小时预判负荷变化趋势，精准调节冷热源出力、水泵转速、末端运行参数。相较于传统反馈控制，MPC可规避调控滞后性问题，使系统在负荷波动前及时调整运行状态，提升能源利用效率10%-15%，同时保障室内舒适度稳定，适用于大型公共建筑等负荷波动显著的场景<sup>[5]</sup>。

#### 4 暖通空调设计优化的挑战与未来展望

##### 4.1 当前挑战

（1）初期投资成本与长期收益的矛盾突出：优化设计常需采用节能设备、智能控制系统等先进技术，导致初始投资显著高于传统设计；而节能降耗、成本节约等长期收益具有滞后性，且受能源政策、运行管理水平等因素影响，部分业主因短期投资压力对优化方案持观望态度，难以推动技术落地。（2）多学科交叉设计的人才缺口亟待填补：暖通空调优化设计需融合建筑热工、能源动力、智能控制、数据分析等多学科知识，当前行业内兼具跨学科视野与实践经验的复合型人才稀缺，导致部分复杂项目的优化方案设计不精准、落地效果不佳。（3）既有建筑改造存在明显技术壁垒：既有建筑受原有结构、管线布局、空间限制等因素约束，优化改造时难以大规模调整系统架构；同时，改造过程中易产生施工干扰、能耗中断等问题，且老旧建筑的基础数据缺失，增加了负荷核算与方案设计的难度，导致改造效果与节能潜力未充分释放。

##### 4.2 未来趋势

（1）人工智能驱动的自主优化系统成为核心方向：依

托大数据与深度学习算法，系统可自主学习建筑负荷规律、气候波动特征及用户舒适需求，实现设备运行参数的实时自主调控、故障预判与策略迭代，无需人工干预即可维持最优运行状态，大幅提升系统智能化水平与运行效率。（2）氢能/核能等零碳能源的耦合应用加速推进：为响应双碳目标，传统化石能源驱动的冷热源系统将逐步被零碳能源替代，氢能燃料电池、核能供热等技术与暖通空调系统的耦合应用将成为趋势，通过能源梯级利用实现全生命周期碳排放降低，推动行业绿色转型。（3）数字孪生技术在运维阶段深度渗透：通过构建与实体系统精准映射的数字孪生模型，整合实时运行数据、环境参数、设备状态等信息，实现系统运行状态的可视化监测、运维方案的模拟优化与故障的虚拟仿真诊断，提升运维的精准性与高效性，延长系统使用寿命并降低运维成本。

#### 结束语

暖通空调系统的优化设计是融合技术革新与可持续发展理念的系统工程。通过多目标协同优化、智能算法赋能及全生命周期成本管控，可显著提升系统能效与经济性。未来，随着人工智能自主调控、零碳能源耦合应用及数字孪生运维技术的突破，暖通空调将向智能化、低碳化方向深度演进。行业需持续突破技术壁垒、培养复合型人才，以推动优化成果落地，助力建筑领域实现碳达峰与碳中和目标。

#### 参考文献

- [1]刘明,郭丽华.暖通空调系统节能技术研究与应用[J].建筑节能,2023,51(4):112-118.
- [2]张晓宇,王思聪.基于智能控制的暖通空调系统设计与应用[J].暖通空调,2023,45(6):56-62.
- [3]姚砺强.绿色建筑暖通空调设计中节能技术的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(13):205-207.
- [4]黄思怡.成都某养老社区暖通空调系统设计分析[J].上海节能,2025,(02):267-273.
- [5]王桦烽.绿色建筑标准下的暖通空调系统设计研究[J].新城建科技,2024,33(10):15-17.