

商业综合建筑空调节能设计策略研究

肖周贵

(宁波华中工程设计有限公司)

【摘要】文章分析了空调负荷特性与节能需求,同时从系统选型、负荷侧控制、运行调控、可再生能源整合四维度,阐述节能策略,明确适配系统、参数标准与技术路径,并提出标准衔接、全生命周期管控等保障措施。本研究希望为商业综合建筑空调节能设计提供参考,助力能耗降低与“双碳”目标实现。

【关键词】商业综合建筑;空调节能;节能设计;负荷特性;可再生能源

中图分类号: TU831

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2026.02.047

Study on Energy-saving Design Strategies for Air Conditioning in Commercial Complex Buildings

XIAO Zhou-gui

(Ningbo Huazhong Engineering Design Co., Ltd.)

【Abstract】This paper first analyzes the air conditioning load characteristics and energy-saving requirements. At the same time, it expounds energy-saving strategies from four dimensions: system selection, load-side control, operation regulation, and renewable energy integration, clarifying adaptive systems, parameter standards and technical paths, and puts forward guarantee measures such as standard connection and full-life cycle management. The research aims to provide a reference for air conditioning energy-saving design of commercial complex buildings, helping to reduce energy consumption and achieve "dual carbon" goals.

【Keywords】commercial complex building; air conditioning energy saving; energy-saving design; load characteristic; renewable energy

1 引言

商业综合建筑集商场、办公、餐饮、娱乐等功能于一体,日均运营时间长、人流波动大,空调系统需持续满足不同区域的温湿度需求,导致能耗居高不下。传统空调设计常存在痛点:一是负荷估算偏差大,未考虑人流、设备散热的动态变化,导致系统“大马拉小车”;二是系统选型与功能区适配性差,易因油烟积聚影响效率;三是运行控制粗放,缺乏实时调控,部分负荷时能源浪费严重。

在“碳达峰”“碳中和”目标下,商业综合建筑空调节能设计需兼顾“能耗降低”与“舒适度保障”。系统研究节能设计策略,不仅能减少建筑碳排放,还能降低运营成本,对推动商业建筑绿色转型具有重要意义^[1]。

2 商业综合建筑空调负荷特性与节能设计需求

2.1 空调负荷特性分析

商业综合建筑空调负荷呈现“动态性、复杂性、高干扰性”特征,直接影响节能设计方向。一是动态

性显著:负荷随时间与人流变化,如工作日商场午间人流峰值时,显热负荷较清晨空场时高3倍~4倍;夏季14h~16h太阳辐射最强,空调冷负荷较夜间高50%以上,需系统具备灵活调节能力。二是复杂性突出:不同功能区负荷差异大,商场区以人体散热、照明散热为主,餐饮区因烹饪设备散热,冷负荷密度达 $150\text{W}/\text{m}^2 \sim 200\text{W}/\text{m}^2$,办公区则需兼顾冬季采暖与夏季制冷,负荷波动平缓,需分区设计适配方案。三是干扰因素多:室外温湿度、太阳辐射、设备运行均会加剧负荷波动,增加节能设计难度。

2.2 空调节能设计核心需求

节能设计需紧扣“能耗降低、舒适度保障、运行稳定”三大核心需求推进。从能耗降低维度,需通过系统优化与技术创新,将空调能耗占建筑总能耗的比例降至40%以下,单位面积空调节能指标控制在 $80\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \sim 100\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,当前行业平均水平为 $120\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \sim 150\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。从舒适度保障维度,需严格符合设计规范的要求:夏季室内温度 $24^\circ\text{C} \sim 26^\circ\text{C}$ 、相对湿度40%~60%,冬季 $20^\circ\text{C} \sim 22^\circ\text{C}$ 、相对湿度30%~50%,同时规避气流组织不均

引发的局部冷热偏差($\leq 2^{\circ}\text{C}$)。从运行稳定维度,系统需适配负荷动态变化,在极端天气(夏季极端高温 38°C 以上、冬季极端低温 -5°C 以下)及设备部分故障工况下,仍能稳定维持基本制冷/制热能力,确保商业运营不受影响^[2]。

3 商业综合建筑空调节能设计的核心策略

3.1 空调系统选型优化

3.1.1 功能区适配性系统选择

基于不同功能区负荷特性选择节能系统,避免“一刀切”式设计。商场公共区域人流密集且负荷波动大,优先采用变风量系统。通过调节送风量匹配实时负荷,部分负荷时(如清晨、晚间)能耗较定风量系统降低 $30\%\sim 40\%$,同时新风比可随 CO_2 浓度自动调整($\text{CO}_2 > 1000\text{ppm}$ 时增大新风量),保障室内空气质量。办公区域负荷稳定且需独立调控,采用风机盘管+新风系统,风机盘管具备三速调节功能,满足不同工位的温度需求,新风系统集中处理后送入室内,减少风机盘管负荷。餐饮区域油烟与散热量大,采用全新风直流系统,配合油烟净化装置,避免新风携带油烟污染室内空气,同时利用排风余热回收装置预热/预冷新风,降低处理能耗。

3.1.2 传统与节能系统能耗对比

对比传统定频空调系统与节能系统的能耗差异,凸显选型优化价值。从设备能效看,传统冷水机组COP(性能系数)约 $3.0\sim 3.5$,而变频冷水机组COP可达 $4.0\sim 4.5$,部分负荷时COP更高;传统风机比功率(SFP)约 $0.8\text{kW}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,变频风机SFP可降低至 $0.45\text{kW}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,能耗优势显著^[3]。

3.2 负荷侧节能设计

3.2.1 围护结构节能优化

通过提升围护结构保温隔热性能,减少室外环境对室内负荷的影响。外墙采用复合保温结构,如挤塑聚苯板(XPS)+混凝土外墙,传热系数 $\leq 0.4\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,较传统外墙(传热系数 $0.6\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})\sim 0.8\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)减少通过外墙的传热负荷 $25\%\sim 35\%$ 。屋面采用倒置式保温屋面,保温层选用聚氨酯泡沫板(导热系数 $\leq 0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$),厚度 $\geq$

100mm ,同时设置架空层通风,夏季减少太阳辐射得热 40% 以上。外窗采用Low-E中空玻璃,传热系数 $\leq 2.0\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,窗框为断桥铝材质,气密性等级达6级以上,减少冷风渗透与传热损失。

3.2.2 遮阳与自然通风利用

通过遮阳设计减少太阳辐射得热,结合自然通风降低空调启动频率。建筑东、西向立面设置固定外遮阳(如遮阳百叶、挑檐),遮阳系数控制在 $0.3\sim 0.5$,夏季可减少太阳辐射得热 $30\%\sim 50\%$;南向立面采用活动外遮阳(如电动遮阳帘),冬季收起增加太阳得热(辅助采暖),夏季展开遮挡强光。在过渡季节(春、秋季,室外温度 $15^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$),利用商业综合建筑的中庭、天窗实现自然通风:开启屋顶排烟风机与楼层外窗,形成空气对流,置换室内热空气,可减少空调运行时间,降低过渡季节能耗。

3.3 运行控制优化

3.3.1 变频与变流量技术应用

推广变频与变流量技术,实现系统“按需供能”。冷水系统采用变频水泵,根据冷水供回水温差自动调整转速,部分负荷时(如 50% 负荷)水泵能耗较定速水泵降低 60% 以上;空调风系统采用变频风机,根据室内温度或 CO_2 浓度调整风量,商场晚间人流减少时,风机转速从 100% 降至 60% ,能耗降低 64% 。同时,采用变频冷水机组,通过调节压缩机运行台数与转速,匹配动态冷负荷,避免单台机组满负荷运行导致的能耗浪费。

3.3.2 智能调控系统构建

依托“BIM+物联网”技术,实现空调运行的精准调控。构建智能监控平台,在各功能区布设温湿度传感器、 CO_2 传感器、能耗计量表,实时采集负荷数据(采集频率 $1\text{次}/5\text{min}$);通过BIM模型可视化呈现系统运行状态,模拟不同负荷下的最优运行参数(如冷水供回水温度、送风量);平台自动生成调控指令,如夏季商场午间负荷峰值时,增加冷水机组运行台数、提高送风量;晚间负荷低谷时,关闭部分机组、降低风机转速,实现“负荷—运行”实时匹配。此外,设置故障预警功能,当换热器结垢导致换热效率下降 10% 以上时,平台自动提醒清洗,保障系统高效运行。

3.3.3 错峰运行与蓄能利用

利用电价政策与蓄能技术,降低运行成本与高峰能耗。执行“峰谷分时电价”的地区,采用冰蓄冷或水蓄冷系统:夜间(低谷电价时段,23:00-7:00)运行制冷机组蓄冷,白天(高峰电价时段)释放冷量满足空调需求,减少白天冷水机组运行时间,降低电费支出。对于有稳定余热来源的商业建筑(如餐饮区厨房排烟、数据机房散热),采用余热蓄热系统:回收余热加热热水,冬季用于空调新风预热或室内采暖,减少燃气锅炉或电加热器的能耗,实现“废热再利用”。

3.4 可再生能源整合应用

3.4.1 地源与空气源热泵应用

推广热泵技术,替代部分传统电制冷/燃气采暖,降低化石能源消耗。商业综合建筑周边有足够场地时,采用地源热泵系统:通过地下埋管与土壤换热,夏季制冷 $COP \geq 4.0$,冬季采暖 $COP \geq 3.5$,较传统空调系统节能 30%~40%,且运行无碳排放。场地受限的建筑,采用空气源热泵系统,选用低温型机组,冬季辅助采暖,夏季配合冷水机组联合制冷, COP 可达 3.0~3.8,较电采暖节能 60% 以上。

3.4.2 光伏与空调系统联动

利用建筑屋面、停车场顶棚安装分布式光伏电站,为空调系统提供部分电力。光伏系统优先直供空调水泵、风机等用电设备,多余电力并入电网;夏季空调用电高峰时,光伏发电量同步增加(太阳辐射强),可满足空调系统的用电需求,减少电网供电依赖。对于大型商业综合建筑,可采用“光伏+储能”模式:光伏电力白天直供空调,夜间储能系统释放电力辅助蓄能,进一步提升可再生能源利用率。

4 商业综合建筑空调节能设计的保障措施

4.1 设计标准与规范衔接

确保节能设计符合国家与地方标准,提升设计合规性与科学性。设计须严格遵循相关规范和标准,重点满足空调系统能效、围护结构传热系数等指标;同时,积极适配地方标准要求。设计过程中,引入“节能评估”环节,委托第三方机构验算节能效果,确保空调节能降低幅度达标,未达标的须优化设计

方案。

4.2 全生命周期管控

将节能设计贯穿“设计—施工—运维”全生命周期,避免“设计节能、实际高耗”。在设计阶段,应明确节能技术的施工要求;在施工阶段,应加强质量管控,如检查保温层厚度、密封胶施工质量,避免因施工缺陷导致节能效果下降;在运维阶段,应制定定期维护计划:每月清洗空调滤网,每季度检查风机、水泵运行状态,每年清洗换热器、更换老化密封件,确保系统长期高效运行。同时,建立能耗统计与分析机制,每月对比实际能耗与设计能耗,偏差超 10% 时排查原因,及时整改。

5 结语

商业综合建筑空调节能设计需以“负荷特性为基础、系统优化为核心、技术整合为手段”,通过系统选型适配、负荷侧控制、智能运行、可再生能源利用,可实现空调节能降低 20%~30%,兼顾能耗削减与舒适度保障。当前,设计实践中仍面临可再生能源初期投资高、智能调控系统兼容性不足等挑战。

未来,需进一步研发低成本可再生能源技术、提升智能系统的协同性,同时完善政策激励,推动商业综合建筑空调节能设计向“更低碳、更智能、更经济”方向发展,为建筑领域“双碳”目标实现提供有力支撑。

参考文献

- [1] 林嘉俊, 杨虎. 大型商业建筑的空调配电系统节能设计研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024 (z1): 117-119.
- [2] 蒋春勇. 商业建筑的高效制冷空调系统的优化设计分析[J]. 节能, 2025, 44 (3): 16-18.
- [3] 苗劲蔚. 基于 BIM 技术的商业建筑暖通空调系统节能研究[J]. 居业, 2022 (7): 151-153.