

# 低碳建筑暖通空调的节能减排技术应用研究

陈雨芯<sup>1</sup> 刘思颖<sup>2</sup>

1. 河南安钢集团工程管理有限公司 河南 郑州 450000

2. 河南安钢泽众冶金设计有限责任公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 低碳建筑作为绿色发展的重要方向,暖通空调系统的节能减排是关键环节。本研究聚焦该领域技术应用,涉及能效提升,利用变频调速、高效换热器等降低能耗;清洁能源替代,采用太阳能、地源热泵减少化石能源依赖;智能控制,借助DDC与AI算法实现精准调控;废热回收,提升能源利用率。这些技术协同作用,有效降低暖通空调系统碳排放,推动低碳建筑发展。

**关键词:** 低碳建筑暖通空调;节能减排技术;应用

引言:在全球气候变化与能源危机日益严峻的当下,低碳建筑发展迫在眉睫,暖通空调系统作为建筑能耗大户,其节能减排意义重大。传统暖通空调运行模式能耗高、碳排放量大,难以满足低碳建筑要求。因此,探索有效的节能减排技术应用成为关键。本研究旨在系统剖析适用于低碳建筑暖通空调的各类节能减排技术,涵盖能效提升、清洁能源利用等方面,为推动暖通空调系统绿色转型提供理论支撑与实践参考。

## 1 理论基础与技术框架

### 1.1 低碳建筑暖通空调的核心理论

(1) 热力学与流体力学是HVAC系统运行的核心理论支撑。热力学第一定律指导系统能量转换,确保能源在加热、冷却过程中合理传递,减少无效损耗;热力学第二定律则帮助优化系统循环效率,避免因熵增导致的能源浪费。流体力学原理应用于风管、水管设计,通过优化流体流动路径与速度,降低阻力损失,提升介质输送效率,保障系统整体能耗降低。(2) 全生命周期碳排放评估是低碳建筑HVAC系统的关键核算方法。该方法覆盖系统从原材料开采、设备制造、施工安装,到运行使用、维护检修,直至报废拆解的全阶段。通过量化各环节的碳排放因子,如电力消耗对应的化石燃料燃烧排放、制冷剂泄漏产生的温室气体排放等,精准计算系统总碳足迹,为低碳优化提供数据依据。

### 1.2 低碳技术分类与框架

(1) 能效提升技术聚焦降低HVAC系统能源消耗。变频技术通过调节压缩机、风机等设备转速,使输出功率匹配实际负荷,减少无效能耗;高效换热器采用特殊结构与材料,增强冷热交换效果,缩短换热时间;磁悬浮机组以磁悬浮轴承替代传统机械轴承,消除摩擦损耗,大幅提升运行效率。(2) 清洁能源替代技术旨在减少对化石能

源依赖。太阳能通过光伏板或集热器,将光能转化为电能或热能,为系统供电;地源热泵借助地下土壤稳定温度,实现冬季吸热供暖、夏季放热制冷;风能发电利用风力驱动发电机,为系统提供辅助电力,降低电网供电带来的碳排放。(3) 能源管理技术通过智能调控提升能源利用效率。智能控制系统依托传感器与大数据技术,实时监测环境参数与设备状态,自动调整运行参数;需求响应(DR)策略在电网负荷高峰时,通过调整系统运行模式削减用电负荷,响应电网调峰需求,同时降低运行成本。(4) 废热回收技术实现能源循环利用。热泵余热回收系统回收系统排放的低温余热,经热泵提升温度后用于供暖或制备热水;冷凝热回收系统在制冷过程中,回收压缩机排出的高温冷凝热,用于加热生活用水,减少额外能源消耗,提升系统能源综合利用率<sup>[1]</sup>。

## 2 低碳建筑暖通空调的节能减排技术应用

### 2.1 高效设备与系统优化

(1) 变频空调技术通过内置变频模块动态调节压缩机运行频率,打破传统定频空调“启停式”运行模式。当室内负荷降低时,压缩机频率随之下降,减少电机功率输出,避免满负荷运行造成的能源浪费。实际应用中,该技术在办公建筑、商业综合体等场景可降低HVAC系统能耗20%-30%,同时减少压缩机频繁启停带来的设备损耗,延长使用寿命3-5年。(2) 热泵技术以环境中低位热能为主要能源,通过少量电能驱动实现能量转移,其中地源热泵因地下土壤温度稳定(全年波动小),换热效率显著优于空气源热泵,COP(性能系数)普遍达到4.0以上,部分高效机型可突破5.0。在北方寒冷地区供暖场景中,地源热泵替代传统燃气锅炉,可减少90%以上的化石能源消耗,每年每万平方米建筑可减少碳排放约80-120吨。(3) 冰蓄冷与水蓄冷技术利用夜间电网低

谷时段（电价较低），通过制冷机组将水制成冰或低温水储存于蓄冷罐，白天电网高峰时段释放冷量满足空调需求。该技术不仅实现“移峰填谷”，缓解电网供电压力，还能借助峰谷电价差节省空调运行电费15%-25%。在大型商业建筑中，采用冰蓄冷系统可使白天制冷机组装机容量减少40%-60%，降低初期设备投资成本<sup>[2]</sup>。

## 2.2 可再生能源集成

（1）太阳能空调系统通过两种核心路径实现能源替代：其一，太阳能光伏驱动电动压缩制冷，利用光伏板将光能转化为电能，直接为传统电动压缩式空调供电，在光照充足地区（年日照时数  $\geq 2000$ 小时），可满足空调系统30%-50%的电力需求；其二，太阳能集热器与吸收式制冷机结合，集热器加热热水后为吸收式制冷机提供热源，相较于单纯电动制冷，该组合可使系统COP提升10%-15%，尤其适用于酒店、医院等需同时供冷与供热水的建筑。（2）风能发电针对独立式建筑（如乡村别墅、偏远地区公共建筑），采用小型风力发电机（功率1-10kW），结合储能电池组构成微电网系统，为HVAC设备提供辅助电力。在年平均风速  $\geq 3\text{m/s}$ 的区域，小型风机年发电量可达2000-8000kWh，可覆盖空调系统15%-20%的用电需求，减少对电网供电的依赖，降低间接碳排放。

## 2.3 智能控制与数字化管理

（1）DDC（直接数字控制）控制器作为HVAC系统的“神经中枢”，通过部署在室内的温湿度传感器、CO<sub>2</sub>浓度传感器，实时采集环境参数，结合预设控制逻辑自动优化设备启停与运行状态。例如，当室内CO<sub>2</sub>浓度低于800ppm且温度处于设定区间时，自动降低新风量与风机转速；当浓度超标或温度偏离设定值时，及时调整设备运行参数，确保室内舒适度的同时避免能源浪费<sup>[3]</sup>。

（2）BIM（建筑信息模型）技术通过三维建模整合建筑结构、HVAC管道、电气线路等信息，在设计阶段即可模拟管道水力工况，识别管径不合理、转弯过多等问题，优化管道布局。实际应用中，采用BIM优化后的管道系统，水力失衡率可降低至5%以下，减少因流量分配不均导致的局部能耗过高，提升系统整体运行效率10%-15%。（3）AI预测算法基于历史运行数据（如过去1-3年的负荷变化、气象数据），结合机器学习模型，提前24-48小时预测建筑空调负荷。例如，通过分析夏季高温天气下的负荷规律，预测次日峰值负荷时段，提前调整冷水机组出水温度、水泵转速等参数，使系统提前进入高效运行状态，相较于传统“被动响应”控制，可降低能耗8%-12%。

## 2.4 废热回收与循环利用

（1）热交换器通过显热交换或全热交换芯体，回收HVAC系统排风中的余热（或余冷），用于预热（或预冷）新风。在冬季供暖场景中，排风温度通常比室外新风高15-25℃，通过热交换器可将新风温度提升10-20℃，降低空调机组加热段的能耗30%-40%；夏季制冷时，可回收排风冷量降低新风温度，减少制冷负荷，同时降低室内湿度，提升舒适度。（2）冷凝热回收系统在空调制冷运行时，通过加装热交换器，回收压缩机排出的高温冷凝热（温度可达80-100℃），将冷水加热至50-60℃，供建筑生活热水使用（如酒店客房、办公楼卫生间）。该技术实现“一机两用”，制冷过程中无额外能耗即可制备热水，每年每万平方米建筑可节省生活热水加热能耗约1.2-1.8万kWh，减少碳排放8-12吨<sup>[4]</sup>。

## 2.5 建筑围护结构协同优化

（1）高性能保温材料替代传统保温材料，显著降低围护结构传热系数。其中，真空隔热板（VIP）的导热系数仅为0.008-0.012W/(m·K)，是传统聚苯板的1/5-1/3；SiO<sub>2</sub>气凝胶作为新型保温材料，导热系数可低至0.010W/(m·K)以下，且具有防火、耐高温特性。将这些材料应用于建筑外墙、屋顶，可使围护结构热损失减少40%-60%，间接降低HVAC系统负荷15%-20%。（2）智能窗户采用电致变色玻璃，通过施加电压改变玻璃透光率，动态调节太阳辐射进入室内。夏季强光时，玻璃自动变为深色，减少太阳辐射得热50%-70%，降低空调制冷负荷；冬季弱光时，玻璃变为浅色，增加太阳辐射得热，减少供暖负荷。实际应用中，智能窗户可使建筑空调负荷整体减少10%-20%，同时避免传统遮阳设施的维护成本与空间占用问题。

## 3 低碳建筑暖通空调的节能减排技术应用的挑战与对策

### 3.1 技术经济性挑战

（1）初期投资成本高是制约技术普及的核心瓶颈。以太阳能空调系统为例，其光伏板、集热器及配套储能设备的采购与安装成本，比传统空调系统高60%-80%，且受光照强度、使用时长影响，投资回收周期普遍长达8-10年，远超商业建筑常规设备5-6年的回收预期，导致不少开发商因短期收益不足望而却步。（2）对策需从政策与市场双维度发力降低成本压力。政府可通过一次性购置补贴（如太阳能系统补贴30%-50%设备费用）、税收减免等政策直接降低初期投入；推行分时电价政策，扩大峰谷电价差（如高峰电价为低谷的3-4倍），让冰蓄冷、水蓄冷等移峰填谷技术的电费节省优势更显著；同时接入碳交易市场，建筑通过低碳技术减少的碳排放可

转化为碳配额出售，为业主增加额外收益，缩短投资回收周期2-3年。

### 3.2 技术适配性挑战

(1) 地域气候差异导致技术效率波动大。地源热泵依赖地下岩土的热交换能力，在岩土孔隙率高、导热系数低的沙质土壤或冻土地区，换热效率会降低20%-30%，甚至出现冬季吸热量不足、夏季排热困难的问题，无法满足建筑负荷需求。(2) 对策需立足气候分区打造灵活的混合能源系统。例如在北方寒冷地区，采用“太阳能+空气源热泵”组合，冬季利用太阳能集热器预热新风，辅助空气源热泵运行，弥补其低温工况下的效率损失；在南方高温高湿地区，构建“地源热泵+冷却塔”系统，夏季通过冷却塔辅助散热，提升地源热泵的COP值，确保技术适配不同地域的气候特征。

### 3.3 系统复杂性挑战

(1) 多技术耦合面临稳定性难题。可再生能源（如太阳能、风能）受天气影响存在波动性，白天光照强时光伏供电过剩，夜间或阴天供电不足，而HVAC系统需持续稳定运行以保障室内舒适度，二者供需矛盾易导致系统启停频繁、能耗反增，甚至引发设备故障。(2) 对策需引入储能系统平衡能源供需。采用相变材料蓄热（如石蜡类相变材料），在太阳能供电充足时储存多余热量，供电不足时释放热量维持系统运行；或搭配锂电池储能，将多余电能储存起来，在能源短缺时段补充供电，通过“储能缓冲”实现可再生能源与HVAC系统的稳定耦合，减少供需波动对系统的影响。

### 3.4 运维管理挑战

(1) 数据孤岛与维护难题影响系统长效运行。智能控制系统中，不同品牌的传感器、DDC控制器数据格式

不兼容，形成“数据孤岛”，无法实现统一调度；同时传感器长期运行易受灰尘、温湿度影响出现故障，若未及时发现，会导致控制逻辑失效，使系统能耗增加15%-20%，且人工巡检成本高、效率低。(2) 对策需依托数字化技术升级运维模式。开发云端运维平台，通过标准化接口整合各设备数据，实现全系统数据可视化监控；利用AI算法分析设备运行数据，提前预测传感器、水泵等部件的故障风险（如根据传感器数据偏差预判故障），实现预测性维护，减少90%以上的突发故障，降低维护成本30%-40%，保障系统稳定高效运行。

### 结束语

低碳建筑暖通空调的节能减排技术研究，是应对环境挑战、实现可持续发展的必然选择。通过本次研究，我们看到多种节能减排技术在降低能耗与碳排放上成效显著，但实际应用中仍面临成本、技术适配等难题。未来，需持续加大技术研发投入，加强政策引导与行业协作，推动节能减排技术的创新与普及，让低碳建筑暖通空调系统更加高效、智能、环保，为构建绿色家园贡献力量。

### 参考文献

- [1]张美琪.建筑工程暖通空调系统节能技术要点及应用[J].石材,2024,(07):77-79.
- [2]胡昆扬.高能耗暖通空调系统运用节能环保技术的探究[J].中国建筑金属结构,2024,(04):45-47.
- [3]孙科.低碳政策下居住建筑设计中暖通新技术的应用研究[J].居舍,2023,(10):109-110.
- [4]王蕾.节能减排理念在建筑暖通空调设计中的应用分析[J].城市建设理论研究,2024,(08):79-81.