

# 低碳建筑理念下的暖通空调节能设计研究

刘 玮

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司 广东广州 510663

**摘 要：**在全球气候变化与“双碳”战略目标驱动下，建筑领域低碳转型已经成为了重点议题。公共建筑中暖通空调（HVAC）系统能耗占了相当高的比例，其节能涉及直接关系到建筑碳排放目标的实现。本文以低碳建筑理念为导向，系统分析了HVAC系统在被动式负荷削减、高效设备集成、余热回收及智能控制等方面的关键技术路径，并针对数据中心与生产工艺用房这两类高耗能场景提出差异化的节能策略。通过多种技术协同与全生命周期的系统集成设计，实现系统能耗的明显下降，降低运行成本以及碳排放，为公共建筑的低碳化转型提供可行的工程路径与理论支撑。

**关键词：**低碳建筑；HVAC；节能设计；智能控制；高效空调；系统优化

## 引言

在全球气候变化与能源结构转型的综合影响下，“碳达峰、碳中和”（简称“双碳”）已从国际共识演进为我国可持续发展的核心战略。建筑领域是能源消耗与碳排放的关键来源，而HVAC系统占公共建筑总能耗的40%~60%<sup>[1]</sup>。该系统的全周期节能表现将直接决定低碳建筑目标的实现程度。本文分析了实现HVAC系统节能设计的关键技术路径并评估了被动式负荷削减、高效设备集成、余热回收及智能控制等措施在HVAC系统节能降碳方面的机制与效果。同时，本文结合生产工艺用房和数据中心这两种典型的高耗能空间场景，深入分析了不同场景下实现差异化的HVAC系统节能设计。并进一步探讨了系统集成优化与智能化控制对节能降碳方面的影响。

## 一、低碳建筑理念与暖通空调节能设计的关系

### 1. 低碳建筑对HVAC系统的核心要求

低碳建筑理念的核心在于最大限度降低建筑全生命周期的能源消耗与碳排放，最小化其对环境的负面影响<sup>[2]</sup>。HVAC系统作为调节建筑内部环境的关键环节，其设计效能与运行效率直接关联建筑的舒适度与能耗水平。传统设计中以满足室内热湿负荷为首要目标。在低碳建筑理念下，HVAC节能设计不再是孤立的系统，而是被定位为实现建筑整体低碳目标的核心环节。即要求HVAC

系统设计深度协同建筑围护结构、自然通风、采光、可再生能源利用等技术，构建系统化性能优化方案。

### 2. 能源效率提升与结构优化

HVAC系统节能设计需要以被动式负荷削减为前提。除了采用高性能围护结构、节能门窗及外部遮阳等传统手段外，还应该调整建筑形态优化与空间布局调整，最大化利用自然采光与通风，降低空调负荷。

HVAC系统在保障室内环境品质的前提下，应该通过高效设备选型、系统优化及余热回收等手段，最大程度的提升能源的利用率。也正因此，HVAC系统评估标准从传统的设备能效比（COP/EER）转向更转向更能反映全年动态运行表现的综合性性能指标，如综合部分负荷性能系数（IPLV）及系统整体运行能效。

### 3. 全生命周期协同机制

HVAC系统的低碳实践需贯穿设计、施工、运行及更新全周期。在设备选型阶段，除运行能效外需同步评估隐含碳。比如在制冷剂选择上，采用R290制冷剂（GWP=3）较传统R410A制冷剂（GWP=2100）在冷凝温度区间30~50℃时，COP高25%<sup>[3]</sup>。

系统设计需具备技术更新换代时的适应性：通过标准化制冷剂接口设计，支持未来低GWP制冷剂的直接更换；预留双接口，便于扩展地源热泵/光伏等新能源接入。

HVAC系统在运行期的能效优化主要依赖智能控制技术。智能控制系统通过传感器实时监测环境状况，从而根据需求调整HVAC系统的运行状态减少能源消耗。通过建筑能源管理系统（BEMS）可实现进一步优化HVAC系统。该系统能够整合全系统数据，并通过应用

**作者简介：**刘玮（1996.01--），女，壮族，广东省广州市，本科，研究方向：暖通空调设计。

优化的调度与控制策略，大幅降低能源消耗。这种数据驱动的智能控制对于HVAC系统长期低碳高效运行非常重要。

## 二、HVAC系统节能设计的关键技术

### 1. 被动负荷减少

建筑围护结构的热工性能对HVAC系统的负荷需求有着至关重要的作用，优化建筑围护结构的保温隔热性能能够明显降低HVAC系统的负担，提高建筑的整体能源效率，提高墙体、窗户和屋顶的热阻值，可有效减少热量的传递，进而降低空调系统的负荷，寒冷季节，通过提高外墙的保温性能，能使空调系统的取暖需求减少20%~30%。聚苯板（EPS）、和Low-E Ar双层中空玻璃窗等保温隔热材料的使用可有效提升建筑热工性能，在保障室内热环境舒适度的同时实现明显的节能效果<sup>[4]</sup>。

建筑维护结构在设计初期就应该利用计算流体动力学（CFD）等仿真工具，把建筑的形态、朝向、窗墙比和外立面遮阳统筹起来进行优化，从而更大程度地利用自然采光与通风。比如选用高性能的窗幕墙系统，并设置有效的日照控制与遮阳系统，搭配可调式外遮阳等可控围护元件，结合建筑能源管理系统（BEMS）实现季节与光照的自适应优化。也可以将围护与室内热回收、空调系统协同设计，进一步减轻HVAC系统的负担。通过整体化设计手段，整体建筑的能源消耗可明显降低，HVAC系统能耗减少30%以上<sup>[5]</sup>，达成节能和舒适的双重效果。

### 2. 高效空调设备的选择与优化

高效空调设备的选择直接关系HVAC系统的整体能效，应优先选用能效等级高、综合部分负荷性能系数（IPLV）优异的设备，如磁悬浮或气悬浮离心式冷水机组、高效螺杆机组等。同时，大力推广空气源热泵、地源/水源热泵、太阳能等利用可再生能源的技术。如空气源热泵通过提取环境空气中的热量实现制冷或制热，比传统空调设备降低碳排放约40%~60%。在夏热冬冷及寒冷地区，热泵技术可实现一份电力输入、多份热量转移的高效供暖<sup>[6]</sup>。还可以采用多功能热泵（四管制/六管制热泵），其能够同时满足制冷、制热、热水等多种需求，在过渡季节实现区域间的冷热量免费回收。余热回收通过回收冷凝热量或排风热量，用于预处理风或水，进一步提高系统的综合能效并使得能源利用最大化。

## 三、公共建筑HVAC系统的节能设计

### 1. 生产工艺用房HVAC系统

生产工艺用房（如洁净厂房、精密实验室）的

HVAC系统通常具有温湿度控制精度高、新风量大、全年不间断运行的特点，其能耗巨大。需要特别注重通风、排热与空调的协同作用，工业生产过程里，设备和工艺常会产生大量热量与污染气体，合理的通风和排热设计因此显得格外重要。

在生产过程中工艺设备会产生高温废气，在设计阶段应详细计算设备的冷负荷，结合生产工艺的特点，合理地安排送排风口位置，优先采用置换通风、局部排风等高效的气流组织形式，在满足工艺要求的前提下减少空调能耗。同时保证热空气能及时排出，避免设备过热或空气短路。通过优化气流组织措施，既能保障生产效率和员工健康，又能减少空调系统的工作负荷，增强其节能效果。

设计阶段还应根据不同生产区域的洁净度、温湿度及风量需求，选用独立的空调系统或者采用变风量系统，避免“一刀切”式的大风量、高压头设计。在过渡季节和冬季，HVAC系统可以充分利用室外新风或冷却塔作为自然冷源，以此减少制冷机组压缩机的运行时间<sup>[7]</sup>。

### 2. 数据机房HVAC系统

数据中心是典型的能耗密集型空间，其PUE（Power Usage Effectiveness，电能利用效率）是衡量其能效的核心指标。其HVAC系统节能设计的核心在于高效、精准地转移IT设备产生的大量集中热量。

常见方式有通过物理隔断将服务器机柜的冷空气吸入端（冷通道）和热空气排出端（热通道）进行气流隔离，避免冷热空气混合短路，可将冷却效率提升30%以上。也可以采用列间空调、行级空调甚至背板冷却等方式，将冷源直接部署在热源附近，极大缩短送风路径，减少冷量损失与风机能耗。

在气候适宜的地区，应优先采用自然冷却技术。在室外温湿度允许时，通过风-风换热（间接蒸发冷却）或水-水换热（板换）等方式，利用室外低温环境为机房降温，可大幅降低甚至完全替代压缩机制冷能耗。冷冻水系统也可以适当提高冷冻水供水温度，比如从传统的7℃提高到15~20℃，可以延长自然冷却的可用时间，还能明显提升冷水机组的制冷能效（COP值）<sup>[8]</sup>。

## 四、低碳建筑理念下的HVAC节能设计优化路径

### 1. 绿色建筑标准与HVAC节能设计

绿色建筑标准如LEED（Leadership in Energy and Environmental Design）和BREEAM（Building Research Establishment Environmental Assessment Method）为HVAC系统的节能设计提供了明确指导框架，LEED标准要求建

筑在设计阶段就考虑 HVAC 系统的能效，通过优化系统配置、选择高效设备并采用可再生能源，实现至少 10% 的节能效果，BREEAM 则注重建筑全生命周期的能效管理，尤其在 HVAC 系统设计中倡导使用低碳技术、智能控制和环境友好型制冷剂。

依据 BREEAM 标准，HVAC 系统的设计必须符合建筑能效要求，同时保证室内空气质量和温度控制，以达成最佳节能效果，这些绿色建筑标准不仅通过系统选择和设计优化提升 HVAC 系统的效率，还通过对能源使用的实时监控，确保系统能效的持续优化，具体应用中，HVAC 系统的设计需要考虑使用变频空调、热泵系统以及智能控制技术等，以提高建筑的整体能源利用率，减少碳排放并满足绿色建筑认证要求。

### 2. 系统集成与优化设计

低碳建筑中，HVAC 系统的集成与优化设计至关重要，建筑能源管理系统（BEMS）是实现系统优化的重要工具，借助 BEMS 系统，能实时监测建筑内各类设备的运行状态，对 HVAC 系统的能效进行精准调控，BEMS 可依据外部气候变化、建筑负荷需求及空调设备的运行状况，自动调节温度、湿度和通风量，进而实现高效节能，统计数据显示，BEMS 的应用能使建筑的能源消耗减少 10%–30%。

利用可再生能源进行 HVAC 系统集成设计是实现低碳建筑的另一重要途径，地源热泵和太阳能系统可有效替代传统的空调和加热设备，降低建筑对化石能源的依赖，地源热泵系统利用地下恒定热源转化为高效供冷/供热能热，太阳能热水系统利用太阳能提供热水，减少电力消耗，并结合 HVAC 系统优化设计，进一步提高建筑能效。

### 3. 前沿技术应用

信息技术不断发展，云计算和大数据技术的结合为 HVAC 能效预测与调控提供了新可能，集成传感器、智能设备和云平台后，建筑能实时监测各个区域的温湿度、空气质量等参数，并依据大数据分析结果进行精准调节，这种技术不仅可有效预测系统的能效变化，还能通过预测模型优化运行策略，进一步减少能源消耗，云计算平台支持下，HVAC 系统能根据天气预报、建筑负荷等数据，自动调整室内温度和通风量，让系统在高峰负荷期

间尽量减少能耗。

### 结束语

低碳建筑理念在 HVAC 系统中的应用，为建筑节能减排提供了切实可行的解决方案，借助高效空调设备、智能控制系统、节能建筑围护结构的优化，以及可再生能源的集成设计，能够明显提升建筑能效，减少碳排放。LEED 和 BREEAM 等绿色建筑标准的指导作用，进一步推动了 HVAC 系统的节能设计，云计算与大数据、等前沿技术的应用，让 HVAC 系统的能效预测与调控更加精准和智能，未来，随着技术的不断进步，低碳建筑的 HVAC 系统将实现更高效、环保和舒适的运行，为建筑行业的可持续发展做出积极贡献。

### 参考文献

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2022[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022: 58–62.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50378–2019 绿色建筑评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [3] 秦闯, 张超, 崔四齐, 等. 低 GWP 制冷剂 R32 和 R290 的选择对比研究[J]. 当代化工, 2023, 52(1): 129–132.
- [4] 孙新辰, 刘芳, 回晓洋, 等. 寒冷地区既有居住建筑节能降碳改造研究[J]. 节能技术, 2025, 43(1): 10–16.
- [5] RABANI M, BAYERA MADESSA H, NORD N. Building Retrofitting through Coupling of Building Energy Simulation–Optimization Tool with CFD and Daylight Programs[J]. Energies, 2021, 14(8): 2180.
- [6] 唐志伟, 刘静, 石英, 等. 低碳供热技术节能指标与经济效益综合分析[J]. 化工进展, 2021, 40(S1): 156–162.
- [7] 白彦飞. 定送变回分层空调系统在高大洁净厂房的应用[J]. 制冷与空调(四川), 2025, 39(1): 127–132.
- [8] 余珏, 梁颖君. 城市轨道交通车站空调系统冷冻水供回水温度方案研究[J]. 制冷, 2022, 41(2): 20–25.