

# 建筑暖通空调系统节能优化设计研究

嵇境成

成都天府国际机场分公司, 四川 成都 610059

DOI:10.61369/ETQM.2026020006

**摘 要：** 本文聚焦建筑暖通空调系统节能优化设计，以“被动优先、主动高效、智能融合、多能互补”为核心思路，构建覆盖建筑本体与暖通系统的全维度节能体系。从被动式技术出发，围绕建筑规划布局优化、围护结构节能、气密性与热桥处理三大维度，减少建筑冷热负荷需求，为系统节能奠定基础。针对暖通空调主动式系统，重点优化冷热源选型、输配系统设计、末端系统节能及能量回收系统，降低系统运行能耗。融入智能控制与可再生能源技术，构建物联网智能控制系统，实现太阳能、地热能、生物质能等可再生能源与传统能源的协同集成，通过多能源互补调度机制提升可再生能源利用率与系统稳定性。

**关 键 词：** 建筑暖通空调；节能优化设计；被动式技术；主动式系统

## Research on Energy-Saving Optimization Design of HVAC Systems in Buildings

Ji Jingcheng

Chengdu Tianfu International Airport Branch, Chengdu, Sichuan 610059

**Abstract：** This paper focuses on the energy-saving optimization design of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems in buildings, adopting a core approach of "passive priority, active efficiency, intelligent integration, and multi-energy complementarity" to construct a comprehensive energy-saving system covering both the building itself and the HVAC system. Starting from passive technologies, it focuses on three key dimensions: optimizing building planning and layout, enhancing the energy efficiency of building envelopes, and addressing airtightness and thermal bridges. These measures reduce the building's cooling and heating load demands, laying a foundation for system energy savings. For the active HVAC systems, the paper emphasizes optimizing the selection of heating and cooling sources, designing efficient distribution systems, enhancing energy efficiency at terminal units, and implementing energy recovery systems to reduce operational energy consumption. By integrating intelligent control technologies and renewable energy sources, an Internet of Things (IoT)-based intelligent control system is established, enabling the coordinated integration of renewable energy sources such as solar, geothermal, and biomass energy with traditional energy sources. A multi-energy complementary dispatching mechanism is employed to enhance the utilization rate of renewable energy and improve system stability.

**Keywords：** building HVAC; energy-saving optimization design; passive technologies; active systems

### 引言

本文以“降低暖通空调系统全生命周期能耗、提升能源利用效率”为核心目标，立足建筑工程实践，系统梳理被动式建筑本体节能与主动式暖通系统优化的技术路径，重点探索智能控制技术与可再生能源的融合应用策略。通过整合建筑规划、围护结构、系统选型、运行调控等多环节节能技术，构建覆盖“负荷需求控制-系统能效提升-能源结构优化”的全维度节能体系，为建筑暖通空调系统的节能设计提供理论支撑与实践参考，助力建筑行业实现“碳达峰、碳中和”目标与绿色低碳转型。

### 一、基于被动式技术的建筑本体节能设计

#### （一）建筑规划与布局优化

空调系统的冷热源选择是指在设计空调系统时应选择合适的

冷热源设备，以满足空调系统运行的需求。在选择冷热源设备时，需要考虑多方面因素，包括建筑物的结构、用途、周围环境、能耗、维护保养等方面<sup>[1]</sup>。建筑规划需建立“气候适应性”理念，针对不同气候区制定差异化方案：严寒地区建筑宜正南向

布局并保证冬至日照，以利用太阳辐射降低20%–30%的采暖负荷；夏热冬暖地区则应使建筑长边平行夏季主导风向，控制长宽比与东西向墙面面积，并利用地形引导穿堂风以降低降温需求。在具体设计中，采用“错列式”布局可比“并列式”提升40%以上的自然通风效率，同时优化单体建筑体型系数（住宅宜低于0.3）并采用紧凑型矩形设计，可比不规则体型减少12%–18%的冷热负荷<sup>[3]</sup>。此外，规划阶段应引入CFD模拟技术预判微气候，优化建筑间距与朝向，确保夏季自然通风覆盖率超80%，并控制冬季风速以减少冷风渗透。

### （二）建筑围护结构节能优化

建筑围护结构节能优化遵循“分层设计、因地制宜”原则，以满足国家规范。外墙方面，严寒地区采用“剪力墙+150mm岩棉”结构（传热系数 $<0.40$ ），夏热地区则用“加气混凝土+50mm挤塑板+反射涂料”以减少夏季得热35%以上<sup>[3]</sup>。屋面采用“倒置式保温”，在防水层上设置40mm聚氨酯并配合种植屋面可降温8–12℃（传热系数 $\leq 0.30$ ），或结合60%–70%覆盖率的光伏板实现遮阳与发电。作为薄弱环节，门窗应采用“断桥铝合金+Low-E中空玻璃”及多道密封，使气密性达8级，降低传热损失50%以上。此外，东西向设置可调节百叶外遮阳，夏季遮阳率80%，冬季收起，进一步减少太阳辐射得热。

### （三）建筑气密性与热桥处理

建筑气密性不足致能耗损失占暖通空调总能耗15%–25%，需构建“设计–施工–检测”全流程控制体系<sup>[4]</sup>。设计明确密封构造（如门窗框用“聚氨酯发泡+防水密封胶”密封）；施工推行“样板引路”，密封胶缝宽 $\geq 10\text{mm}$ 且粘结牢固；竣工需做风机门测试，50Pa压力差下住宅换气次数 $\leq 0.6$ 次/h、公建 $\leq 1.0$ 次/h。热桥传热损失占围护结构总损失20%–30%，需“阻断+保温强化”，梁柱与外墙交接处用“外贴保温延伸法”（延伸 $\geq 300\text{mm}$ ）；门窗框设50mm厚防火保温岩棉条；装配式墙板接缝用“企口式连接+密封胶+保温泡沫条”（传热系数 $\leq 0.8\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ）；屋面檐口等增20mm厚XPS保温板。设计阶段用THERM等软件模拟，确保热桥内表面温度不低于室内露点温度。

## 二、暖通空调主动式系统节能优化设计

### （一）高效冷热源系统选型与优化

冷热源系统作为暖通空调的能耗核心（占40%–55%），其选型必须遵循“气候适配、负荷匹配、能效最优”原则<sup>[5]</sup>。大型公建优选“变频离心机+低氮燃气锅炉”组合，其离心机COP需 $\geq 6.3$ ，部分负荷节能显著；严寒地区宜采用“水地源热泵+市政热力”复合系统，COP稳定在3.8–4.5，并需通过热响应测试优化地下埋管设计；夏热冬冷地区则推广“空气源热泵+太阳能辅助”系统，可替代超60%电采暖；中小型建筑推荐采用IPLV $\geq 4.8$ 的“变频多联机（VRV）”。为最大限度节能，系统优化应引入负荷预测技术，通过群控策略使机组在50%–70%的最高效区间运行，从而降低部分负荷能耗35%–40%。

### （二）输配系统节能设计

输配系统（水系统+风系统）是能耗传递的“桥梁”，其节

能核心在于“降阻减耗、变流量适配”，系统能耗占比达20%–30%。水系统采用“一次泵定频匹配冷机、二次泵变频调节末端”的联合模式，水泵需为国标2级以上能效，管网通过同程式、分压分区、选用光滑管道和大曲率弯头来降低阻力，并经水力计算确保流量偏差 $\leq 10\%$ 。风系统则以“变风量（VAV）+高效变频风机”为核心，严格控制风机单位风量耗功率和风管漏风率<sup>[6]</sup>。此外，系统必须强化保温防凝露，冷水管保温层厚度不小于50mm，关键节点设专用保温套，确保冷损失率 $\leq 3\%$ ，风管在非空调区也需加强保温，以全面减少输送过程中的能量损失。

### （三）末端系统节能设计

末端系统是“冷热量传递的最后一公里”，其节能需兼顾“换热效率、气流组织、精准控温”，直接影响室内热舒适与系统能耗<sup>[7]</sup>。中小型建筑优先采用高效变频风机盘管，通过“温度–水量”双联动控制实现低负荷节能；高大空间则利用“分层空调+射流喷口”技术，精准保障人员活动区温度，大幅降低空调负荷；住宅和办公场所适用辐射系统，但需联动新风除湿以防结露<sup>[8]</sup>。此外，所有末端设备布置都应结合CFD气流模拟优化，并与室内照明、人员密度传感器联动，在无人或照度充足时自动降低负荷，实现“人走能停”的精准节能。

### （四）能量回收系统设计

能量回收系统通过回收排风能量预处理新风，可显著降低30%–50%的新风能耗。其选型与应用需因地制宜，夏热冬湿地区优先采用全热效率 $\geq 75\%$ 的全热交换器；严寒地区则选用显热效率 $\geq 82\%$ 的显热交换器以防冻结；工业厂房常用效率 $\geq 85\%$ 且可自清洁的转轮式；医院等场所则需用渗漏率 $\leq 0.5\%$ 的板式以防交叉污染。系统设计必须满足新风量 $\geq 30\text{m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$ 的设置要求，并仅在新风与排风具备足够温差或焓差时才投入使用，同时采用变频风机确保其附加能耗不超过回收能量的15%，从而实现整体节能最大化。

## 三、智能控制与可再生能源融合策略

### （一）基于物联网的智能控制系统

基于物联网的智能控制系统构建“感知–传输–决策–执行”全闭环架构，核心是实现暖通空调系统从“被动响应”到“主动预判”的转变，需符合《智能建筑设计标准》（GB 50314–2015）中“系统响应时间 $\leq 5\text{s}$ ”的要求<sup>[9]</sup>。感知层部署高精度传感器，室内温度传感器精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 、湿度传感器 $\pm 3\%\text{RH}$ ，人员密度传感器采用毫米波雷达技术（识别误差 $\leq 5\%$ ），冷热源机组进出口设置超声波流量计（精度 $\pm 1\%$ ），实时采集末端需求、设备状态及能耗数据；网络层根据场景选型，建筑内部采用BACnet MS/TP总线，远程数据传输采用LoRa技术（通信距离 $\geq 3\text{km}$ ），确保数据传输稳定无延迟。应用层搭载AI优化算法（如遗传算法+BP神经网络），通过训练10万+组运行数据建立负荷预测模型，预测精度达92%以上。具体应用包括与冷热源系统联动，提前2小时预判办公建筑早高峰负荷，启动变频机组预冷/预热，避免开机冲击能耗；与末端系统协同，根据会议室人员

密度动态调节风机盘管转速，当人员减少50%时自动降低送风量30%；设备管理模块通过振动传感器（频率响应5–1000Hz）监测水泵轴承状态，故障预警准确率 $\geq 95\%$ ，减少非计划停机能耗。系统需与建筑能源管理系统（BEMS）深度集成，生成能耗看板，支持能耗偏差分析。

（二）可再生能源与暖通空调系统集成

可再生能源集成需遵循“因地制宜、按需匹配”原则，核心是实现能源供应与暖通空调负荷的动态平衡，其集成方案需通过《建筑可再生能源利用通用规范》（GB 55015–2021）能效评估。太阳能集成分为光热与光伏两类，光热系统采用平板式集热器，与空气源热泵串联，集热器出口水温 $\geq 45^{\circ}\text{C}$ 时直接为采暖系统供能，不足部分由热泵补充，在西安地区1000m<sup>3</sup>住宅建筑中，年替代燃气量达2.3万m<sup>3</sup>；光伏系统采用BIPV组件，覆盖屋面60%面积，装机容量50kW，配合100kWh锂电池储能系统，晴天可满足输配系统（水泵、风机）80%的用电需求，余电并入电网实现“自发自用、余电上网”<sup>[10]</sup>。地热能集成以中深层地埋管热泵系统为主，通过定向钻探技术将U型管埋入1500m深热储层，COP可达4.8–5.2，相较于浅层地源热泵节能18%，在沈阳某商场应用中，单台300kW地源热泵年节电45万kWh；生物质能适用于乡镇建筑，采用生物质颗粒锅炉为地暖系统供能，颗粒消耗量0.15kg/(m<sup>2</sup>·d)，运行成本仅为电采暖的1/3。风能集成限于年平均风速 $\geq 3.5\text{m/s}$ 的地区，采用小型垂直轴风机，与光伏系统组成“风光互补”供电，为偏远地区民宿空调供电，供电可靠性达92%以上。所有可再生能源系统均需设置“能源计量点”，采用智能电表统计发电量与消耗量，确保能源利用透明可控。

（三）多能源互补与协同优化

多能源互补系统通过智能调度整合“可再生能源、传统能源与储能”，以“优势互补、梯级利用”实现暖通系统能效最优与稳定供应，目标为可再生能源利用率 $\geq 50\%$ ，综合能效比 $\geq 5.0$ 。

其核心是“三层调度”机制，实时调度以15分钟为间隔，优先使用光伏，不足时由储能和电网依次补能；日内调度则以1小时间隔，利用峰谷电价在谷段为储能充电，峰段优先使用光伏与储能，可降低用电成本30%–40%。同时，系统通过能源梯级利用，将光伏过剩电能转化为热能储存，并回收地源热泵的冷凝热用于生活热水。面对连续阴雨等极端工况，系统将启动“地源热泵+燃气壁挂炉”复合模式确保室温稳定。以1万m<sup>2</sup>办公建筑为例，该系统初始投资增加80万元，但年运行费用降低25万元，投资回收期约5.8年，年碳减排量达180吨，较传统系统提升65%。

四、结束语

建筑暖通空调系统的节能优化是破解建筑行业能源困境、推动低碳转型的核心路径，其本质是通过技术融合与系统协同，实现“需求侧减量、供给侧高效、调控侧精准”的全链条节能目标。本文围绕这一核心，构建了“被动式本体节能为基础、主动式系统优化为核心、智能控制与可再生能源融合为延伸”的三维节能体系，系统阐释了各环节的技术逻辑与实践路径，为暖通空调系统的节能设计提供了多维度解决方案。在被动式技术层面，本文明确了建筑规划布局、围护结构、气密性与热桥处理的节能潜力，通过气候适应性设计、分层保温构造、全流程密封控制等技术手段，可从源头降低20%–30%的冷热负荷，为系统高效运行奠定基础；主动式系统优化中，针对冷热源、输配、末端及能量回收四大核心模块，提出了“气候适配选型+变工况调控”的节能策略，使系统运行能耗降低35%–40%，显著提升了能源利用效率；智能控制与可再生能源融合部分，则通过物联网感知、AI负荷预测及多能源协同调度，实现了系统从“经验运行”到“精准调控”的转变，可再生能源利用率可达50%以上，为系统注入了低碳动力。

参考文献

[1] 崔璐娟. 建筑暖通空调系统节能优化设计研究 [J]. 河南建材, 2024(5): 88–90. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9772.2024.5.hnjc202405032.  
[2] 康贺. 建筑暖通空调系统节能优化设计分析 [J]. 中国设备工程, 2023(2): 132–134. DOI: 10.3969/j.issn.1671-0711.2023.02.053.  
[3] 李红. 建筑暖通空调系统节能优化设计分析 [J]. 居业, 2024(11): 85–87. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4085.2024.11.029.  
[4] 何华松. 建筑暖通空调系统节能优化设计 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2011(16).  
[5] 马辉. 绿色超高层建筑暖通空调系统节能优化设计研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(6): 150–152. DOI: 10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2024.06.051.  
[6] 顾静丽. 现代建筑暖通空调系统节能优化设计探讨 [J]. 房地产导刊, 2016(30): 205–206.  
[7] 郭兵杰, 张永欢. 建筑暖通空调系统节能优化设计 [J]. 名城绘, 2019(5): 0580.  
[8] 于中仕. 建筑暖通空调系统节能优化设计 [J]. 建筑工程技术与设计, 2022, 10(21): 49–51.  
[9] 陈美君. 建筑暖通空调系统节能优化设计分析 [J]. 户外装备, 2023(6): 448–450. DOI: 10.12277/j.issn.1673-9434.2023.6.150.  
[10] 王若思. 建筑暖通空调系统节能优化设计分析 [J]. 电脑爱好者 (电子刊), 2021(10): 2675–2676. DOI: 10.12277/j.issn.1005-0043.2021.10.1337.