

绿色建筑理念下暖通空调系统能耗控制策略研究

王 昆 梁玉城

中建八局第二建设有限公司 山东 济南 250100

摘 要：暖通空调能耗管控是落实绿色建筑节能建设目标的核心抓手，也是优化建筑用能结构、提升居住使用品质的关键环节。文章剖析围护结构、设备配置、负荷波动等核心能耗影响因素，从被动节能、设备优化、智能调控及运维管理多维度，提出精细化、系统化的能耗控制策略，为绿色建筑暖通系统高效低碳运行提供理论支撑。

关键词：绿色建筑；暖通空调；能耗控制；能源效率；系统优化

引言：绿色建筑的建设模式，相较于传统建筑粗放的用能形式，更加关注建筑全周期的节能降耗与环境适配效果；暖通空调作为建筑能耗占比较大的设施，它的运行效果会直接影响绿色建筑的整体品质与节能表现。依托绿色发展理念，梳理暖通能耗的产生原因与优化办法，对推进建筑行业节能升级、提高整体用能效率，有着较为重要的研究价值。

1 绿色建筑与暖通空调能耗关联性概述

绿色建筑区别于传统建筑的核心特征，是在建筑全生命周期内实现资源高效利用、环境低影响、空间高宜居性的协调统一，摒弃了传统建筑重建设、轻节能、高消耗的发展模式。暖通空调系统作为建筑机电系统的核心，其能耗水平直接决定绿色建筑的能效评级与运行品质，二者存在高度绑定的关联性。从建筑能耗结构来看，暖通空调、照明、给排水是建筑三大能耗系统，其中暖通空调系统能耗占比最高，且受建筑结构、室外气候、运行模式等多重因素影响，能耗波动性极强。据建筑能耗监测平台统计数据显示，常规非绿色建筑中，暖通空调系统运行能耗占建筑总运行能耗的52%~60%，而达标绿色建筑中该占比可降至40%以内，充分印证绿色建筑设计理念对暖通能耗的约束与优化作用。同时，暖通空调系统的能耗控制效果，直接影响绿色建筑室内热舒适、空气品质等核心指标，只有实现暖通系统的高效低耗运行，才能真正落地绿色建筑的建设内核。反之，不合理的暖通系统设计与运行模式，会大幅抵消建筑围护结构、景观绿化等绿色设计的节能效果，造成绿色建筑能效不达标、资源利用不充分的问题。因此，依托绿色建筑理念开展暖通空调能耗管控，是建筑节能体系中不可或缺的核心环节^[1]。

2 绿色建筑暖通空调系统能耗核心影响因素

2.1 建筑围护结构传热损耗因素

建筑围护结构是分隔室内外环境的核心载体，也是暖通空调冷热损耗的主要通道，其保温隔热性能直接决定空调系统的基础能耗负荷。绿色建筑虽对围护结构节能设计有基础要求，但实际运行中仍存在大量能耗损耗问题。围护结构的能耗损耗主要集中于墙体、门窗、屋面、地面四大结构，其中门窗部位的传热系数最高，是冷热渗透的核心薄弱点。实测数据表明，常规绿色建筑中，围护结构整体冷热损耗占暖通空调总能耗的38%~45%，其中门窗渗透损耗占比达22%，屋面与墙体传热损耗占比分别为13%、10%。部分建筑存在门窗密封性不足、保温层铺设厚度不达标、围护结构节点处理不完善等问题，会进一步加剧室内外热量交换，导致暖通空调需要持续高负荷运行以维持室内恒定温度，大幅增加无效能耗。同时，围护结构的蓄热性能也会影响能耗波动，夏季屋面、墙体吸收大量太阳辐射热，热量持续向室内传导，导致空调制冷负荷激增；冬季围护结构热量快速散失，制热能耗大幅上升，且这种被动能耗损耗无法通过简单的设备调控消除，是基础性、长期性的能耗影响因素。

2.2 暖通设备选型与配置因素

设备选型与系统配置的合理性，直接决定暖通空调系统的基础能效水平，是能耗控制的硬件基础。当前部分绿色建筑暖通系统设计存在适配性不足的问题，设计阶段过度预留负荷、设备选型冗余、系统配比失衡等问题普遍存在。部分设计人员为规避运行负荷不足问题，盲目放大设备额定参数，导致主机、水泵、风机等核心设备长期处于低负荷运行状态，设备运行效率远低于额定工况，造成能源低效消耗。相关设备运行监测数据显示，当暖通主机运行负荷率低于50%时，设备能效比会

下降 30%~40%，单位冷热能耗大幅上升。同时，系统配套设备配比不合理也会加剧能耗损耗，水泵、风机等输送设备参数与主机不匹配，会出现输送能耗过高、冷热输送效率偏低的问题，形成“大马拉小车”的低效运行状态。此外，部分绿色建筑为控制建设成本，选用能效等级偏低的暖通设备，设备本身能耗基数较大，即便后期优化运行模式，也难以实现深度节能，从硬件层面制约了能耗控制效果^[2]。

2.3 室外气候与室内负荷波动因素

气候环境变化是导致暖通空调动态能耗波动的核心外部因素，室内人员、设备、照明等负荷变化则是内部能耗波动的主要来源，内外负荷耦合变化使得暖通系统能耗始终处于动态波动状态。从外部环境来看，温度、湿度、太阳辐射强度的昼夜与季节差异，会直接改变建筑冷热负荷需求。夏季高温高湿天气下，建筑制冷负荷大幅提升，且昼夜温差较小时，空调夜间持续运行能耗居高不下；冬季低温大风环境下，建筑热损耗速度加快，制热负荷显著增加。数据显示，极端天气工况下，暖通系统能耗较常规工况提升 25%~35%。从内部负荷来看，室内人员流动、办公设备散热、照明散热等动态变化，会导致室内冷热负荷实时波动。人员密集时段，室内散热散湿量大幅增加，空调负荷随之上升；人员稀疏时段，负荷需求显著下降。若暖通系统无法适配这种动态负荷变化，始终保持恒定运行功率，就会出现负荷过剩、能源浪费的问题，大幅降低系统运行能效。

3 绿色建筑理念下暖通空调系统能耗精细化控制策略

3.1 优化建筑围护结构节能适配设计

依托绿色建筑被动式节能理念，通过优化围护结构保温隔热与密封性能，从源头降低暖通空调基础负荷，实现被动式降耗，从根本上减少系统主动能耗输出。针对墙体、屋面、门窗三大核心能耗薄弱部位，实施差异化节能优化改造。墙体优先采用复合保温结构，选用导热系数低、保温稳定性强的节能保温材料，严格控制保温层铺设厚度与施工质量，规避保温层空鼓、开裂、脱落等问题，有效降低墙体传热系数。屋面增设隔热保温层与反射隔热层，利用反射材料削弱太阳辐射吸收量，降低屋面蓄热与向室内的热量传导，缓解夏季空调制冷

压力。门窗作为冷热渗透的核心部位，需重点优化密封性与隔热性能，替换传统普通门窗为断桥隔热型材搭配中空 Low-E 玻璃，大幅降低门窗传热系数，同时优化门窗缝隙密封工艺，加装高性能密封胶条，减少空气渗透带来的冷热损耗。

为直观体现围护结构优化的节能效果，整理不同围护结构优化方案的传热参数与节能效益，形成表 1 所示数据对比结果。

表 1 建筑围护结构优化前后传热系数与能耗降幅对比表

围护结构部位	优化前传热系数 ($W/(m^2 \cdot K)$)	优化后传热系数 ($W/(m^2 \cdot K)$)	单项能耗降幅 (%)
外墙	2.8~3.2	1.2~1.5	10~13
屋面	3.0~3.5	1.0~1.3	12~15
外窗	4.5~5.0	2.0~2.4	20~23

由表中数据可知，围护结构各部位优化后传热系数大幅降低，其中外窗优化的节能效果最为显著，单项能耗降幅可达 20% 以上。整体围护结构优化完成后，建筑整体冷热负荷可降低 30%~35%，能够从源头大幅减少暖通空调系统的运行负荷，为后续主动式能耗管控奠定良好基础，契合绿色建筑被动节能的核心设计理念^[3]。

3.2 优化暖通设备选型与系统配置

以精准适配、高效匹配为核心原则，优化暖通空调设备选型与系统整体配置，解决设备冗余、配比失衡、能效偏低的问题，提升系统基础运行能效。在设备选型阶段，摒弃传统超余量设计模式，结合绿色建筑实际功能分区、室内负荷需求、区域气候特征，通过精准负荷计算确定设备额定参数，保证主机、水泵、风机等核心设备的运行负荷率稳定在 60%~80% 的高效区间，规避低负荷低效运行问题。优先选用一级能效节能设备，替换高能耗老旧设备，从硬件层面提升系统节能水平。

同时注重系统各设备的协同适配性，保证冷热主机、输送设备、末端设备的参数匹配，杜绝输送设备参数过大导致的输送能耗浪费。针对多区域、大空间绿色建筑，采用分区设备配置模式，根据不同区域的使用功能、负荷差异，配置独立的小型暖通机组，替代传统大型集中式机组，实现小负荷精准调控，减少大范围无效能耗损耗。为清晰体现不同设备配置方案的能效差异，整理机组配置模式与运行能效的对应关系，形成表 2 数据。

表 2 不同暖通机组配置模式运行能效对比表

机组配置模式	设备平均负荷率 (%)	系统综合能效比	单位面积能耗 ($kWh/m^2 \cdot a$)
传统集中式大机组	40~50	2.8~3.2	85~92
分区适配型机组	65~75	4.0~4.5	58~65

从表2数据可以看出,优化后的分区适配型机组可将设备负荷率提升25%以上,系统综合能效比大幅提升,单位面积年能耗降低30%左右,设备运行始终处于高效区间,彻底解决了传统机组冗余配置、低效运行的问题,有效提升了暖通系统的能源利用效率。

3.3 构建动态负荷自适应调控机制

暖通系统可结合室外气候的实时变化与室内负荷的动态波动情况,建立分时、分区、分工况的自适应调控模式,让设备运行状态匹配建筑实际用能需求,以此减少不合理调控带来的能源浪费。可按照绿色建筑不同空间的使用功能,对办公、公共、设备等区域开展分区管控,结合各区域人员活动规律与负荷特性,设置差异化的温湿度标准以及设备运行时长,人员活动较多的区域保障基础舒适体验,闲置辅助区域则适当放宽调控要求,降低设备运行压力。可依据昼夜温差与四季气候差异落实分时调控,根据夏冬不同时段调整设备运行参数,规避设备全天高负荷运转的问题;同时跟随天气变化调整运行工况,联动通风、隔热等功能适配环境变化,削弱负荷波动造成的能耗损耗,切实落实绿色建筑按需能用、高效节能的建设要求^[4]。

3.4 完善暖通系统常态化运维体系

常态化、标准化的运维管理是保障暖通系统长期高效运行的关键,依托绿色建筑全生命周期节能理念,构建系统化、常态化的设备运维体系,持续维持系统高效能效水平。建立定期设备巡检与清洁机制,按月完成空调滤网、蒸发器、冷凝器的清洁除尘工作,按季度检查管道密封性、阀门运行状态、风机运转工况,及时清理管道水垢、疏通堵塞点位,保障设备换热效率与输送效率稳定。长期监测数据表明,规范的周期性运维可使设备换热效率稳定在设计标准的95%以上,避免因设备老化、积污导致的能效衰减问题。

同时建立设备运行台账,实时记录系统运行参数、能耗数据、故障信息、运维记录,通过数据复盘分析系统低效运行的时段与原因,针对性优化运行方案。针对老旧、损耗严重的零部件及时更换,避免小故障引发的系统整体低效运行问题。此外,规范运维人员操作标准,杜绝人为误操作、过度调控、设备空转等人为能耗浪费问题,从管理层面筑牢能耗控制基础,实现暖通系统全时段、全状态的高效低耗运行。

3.5 融合智能化技术赋能精准降耗

依托智能感知、数据监测、自动控制等现代化技术,为暖通空调能耗管控提供技术赋能,实现从传统粗放式管控向精细化、智能化、自动化管控转型。在暖通系统中搭建智能能耗监测与调控平台,布置温湿度传感器、能耗采集终端、负荷监测设备,实时采集室内环境参数、设备运行参数、能耗数据、室外气候数据,实现建筑暖通能耗的全方位动态监测。

通过平台数据算法分析,精准识别系统低效运行时段、能耗异常点位、负荷适配偏差问题,自动优化系统运行参数,实现风机、水泵、主机的变频自适应调节,根据实时负荷动态调整设备运行功率,避免固定功率运行带来的能源浪费。同时搭载智能联动控制系统,实现暖通系统与建筑通风、采光、遮阳系统的协同联动,日间利用自然采光、自然通风优化室内环境,减少空调开启时长;强光时段联动遮阳系统降低太阳辐射负荷,间接降低空调制冷压力。智能化技术的融入,能够最大化挖掘系统节能潜力,实现暖通能耗的精准化、智能化管控,契合绿色建筑智慧化、高效化的发展趋势^[5]。

结束语:暖通空调产生的能耗损耗,会牵涉结构设计、负荷匹配、日常运维等多个层面,单一的整改方式,往往无法实现理想的节能效果;结合绿色建筑被动节能与智能用能的核心思路,整合结构整改、设备适配、动态调控等多种优化方式,能够有效削减暖通系统的无效能耗,也能让绿色建筑兼顾舒适体验与高效节能的运行优势。

参考文献

- [1] 冯阳阳,陈晨,刘亚招.基于强化学习AI算法的绿色建筑暖通空调系统自适应控制策略[J].自动化与仪器仪表,2026,(6):153-157.
- [2] 夏雨濛,刘筱屏.低能耗绿色建筑暖通空调系统关键设计要点研究——以山东省济南市黄河明珠电视发射塔项目为例[J].建设科技,2026,(4):69-72.
- [3] 何伟.暖通空调系统节能优化与智能控制策略[J].科技信息与研究,2026,6(4):128-130.
- [4] 代科.绿色建筑理念在暖通空调系统节能设计中的应用[J].中国厨卫,2026,25(6):25-27.
- [5] 曹青,戈瑞,连立平.绿色建筑背景下暖通空调系统能效提升路径分析[J].现代工业工程,2026,(10):98-100.