

基于冷热负荷联动的建筑暖通空调系统节能设计

孙晨明¹, 刘娟², 周军³

(1. 北京新神新能源科技有限公司, 北京 100006;

2. 北京宏宇翔市政工程有限公司, 北京 101118;

3. 北京绿都锦绣建设集团有限公司, 北京 101299)

摘要 在“双碳”战略深入推进与建筑能耗持续攀升的背景下, 暖通空调系统节能成为建筑绿色发展的关键。本文以建筑冷热负荷联动机制为核心研究对象, 深入分析室外环境、建筑自身及使用需求等因素对冷热负荷的影响规律, 提出涵盖负荷精准计算优化、联动控制策略制定、节能系统配置的一体化设计方法。通过动态匹配负荷变化与系统运行状态, 实现能源利用效率与室内舒适性的平衡。实践表明, 该设计可降低系统能耗 10% 以上, 为建筑暖通空调系统节能提供科学可行的技术方案。

关键词 冷热负荷联动; 暖通空调; 节能设计; 负荷计算; 联动控制

中图分类号: TU83

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.12.041

0 引言

在社会总能耗中, 建筑能耗占比超过三分之一, 而在建筑总能耗当中, 暖通空调系统能耗占比达到 40%~50%, 使其成为节能降耗的核心领域。随着建筑功能朝着多元化方向发展, 使用需求也趋向精细化, 传统的基于固定负荷的设计模式已经很难适应冷热负荷的动态变化情况, 进而造成了能源浪费以及舒适性不足等问题。在“双碳”目标的引领之下, 行业迫切需要突破传统设计所面临的瓶颈。本文通过对冷热负荷联动特性及其影响因素进行分析, 构建基于负荷联动的节能设计框架, 旨在使暖通空调系统能够与负荷需求实现精准匹配, 从而为建筑节能提供技术方面的参考。

1 建筑冷热负荷联动特性及影响因素分析

1.1 冷热负荷联动核心内涵

建筑冷热负荷联动呈现的是冷负荷与热负荷在建筑全生命周期运行当中的动态关联和协同响应特征, 其本质在于室内外环境变化、功能使用需求波动等因素共同作用下, 两种负荷于时间维度的交替演进、空间维度的分布呼应以及强度维度的相互制衡。这种联动并非是简单的此消彼长, 而是借助热量传递、湿交换等物理过程所形成的有机整体, 冷负荷的增减会对

热负荷的调节阈值产生间接影响, 热负荷的波动也会使冷负荷的需求强度发生改变^[1]。

1.2 冷热负荷主要影响因素分析

1.2.1 室外环境因素

在影响冷热负荷的各类环境变量之中, 室外温度是最为核心的一项, 其变化幅度会直接对负荷联动的方向与强度起到主导作用。于夏季而言, 湿球温度所产生的细微波动, 会借助围护结构传热、室内外空气渗透等途径, 使冷负荷的变化得以放大; 冬季时, 干球温度的上升或下降, 则会直接使热负荷的需求总量发生改变。室外湿度会对人体热舒适的感知以及建筑围护结构的含湿量产生影响, 进而对冷热负荷的实际需求强度进行间接调整。在高湿度环境下, 冷负荷需要额外增加除湿负荷, 而在低湿度条件中, 热负荷的体感权重会得到提升^[2]。

1.2.2 建筑自身因素

建筑体型系数与围护结构传热性能共同构成冷热负荷的基础影响框架, 体型系数越小, 建筑与外界的换热面积越少, 冷热负荷的波动幅度越平缓, 联动关系也更趋稳定。围护结构的材质选择、构造设计直接决定传热系数大小, 高效保温材料的应用能削弱室外温度对室内负荷的干扰, 降低冷热负荷的联动敏感度。

作者简介: 孙晨明 (1991-), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向: 节能及能源开发与利用。

2 基于冷热负荷联动的暖通空调系统节能设计框架

2.1 冷热负荷精准计算方法优化

冷热负荷精准计算是实现暖通空调系统与负荷联动适配的基础,其核心在于突破传统固定参数计算的局限性,构建贴合实际运行场景的动态计算体系。计算过程需严格遵循建筑节能相关通用规范,结合建筑功能特性与使用规律,科学选取基础参数。引入冷热负荷影响幅度系数,量化室外环境、使用强度等因素对负荷的作用程度,夏季冷负荷计算中,室外湿球温度低于标准值时采用2.3至2.6的系数,高于标准值时采用2.6至2.7的系数;冬季热负荷计算则根据室外干球温度高低,对应选取-0.7至-0.5或-0.8至-0.7的系数。人员密度变化相关系数按夏季减少0.85至1.00、夏季增加0.13、冬季减少1.05至1.25的区间取值。同时,细化围护结构热负荷计算,按外墙、屋面、外窗等不同部位的传热系数与面积,结合室内外温差分步核算,累加得到总围护结构热负荷,为系统设计提供精准数据支撑^[3]。

2.2 冷热负荷联动控制策略设计

冷热负荷联动控制策略的核心逻辑围绕负荷动态变化与系统运行参数的实时响应机制展开,通过精细化调控实现能源利用效率的最大化。以气候补偿器为依托构建的温度联动调节体系,把设备布置在供热系统主回路,对室外温度波动进行实时监测,按照预设的气候补偿曲线自动调整供水温度。当室外温度上升时,相应地降低供水温度以削减热量供应;温度下降时,提升供水温度来保障室内舒适,以此避免过度供能或供能不足的情况。所构建的分时分区联动控制模式,根据建筑不同区域的功能重要性和使用时段差异,对运行负荷进行差异化设定。关于新风量联动调节逻辑的优化,在人员密度降低时,新风量按比例递减;人员密度增加时,在满足空气品质要求的前提下,控制新风量的增长幅度。同时结合全热回收技术,回收排风中的热量或冷量用于新风处理,降低新风负荷对系统能耗的影响,实现冷热负荷与新风系统运行的协同节能。

2.3 负荷联动导向的节能系统配置

以负荷动态变化规律作为核心的负荷联动导向节能系统配置,需对设备高效性、系统适配性与运行稳定性加以兼顾。在冷源方面,选用高效率离心式冷水机组,依据总冷量需求对机组台数与型号进行合理确定,使机组在全负荷和部分负荷工况下都能维持良好能效。配置高效变频离心泵,借助频率调节去适配负

荷变化,以此降低水泵运行能耗;冷却塔选用超低噪声逆流式类型,将其布置于屋顶,在满足散热需求的同时对噪声污染进行控制;增设多功能全程水处理器,用来保障系统水质稳定,减少结垢与腐蚀对设备效率产生的影响。在风机盘管与新风系统配置的优化上,根据不同房间的负荷状况与使用特点,选取匹配型号的风机盘管,明确电源、水系统、风压噪声等技术要求,保障传热效率与运行稳定性。新风系统采用上送上回的气流组织方式,均匀布置送风口以确保气流合理分布,高大空间采用分层送风与变风量控制,特殊区域设置独立排风系统,同时实现新风系统与空调设备的联动控制,在满足空气品质要求的同时强化节能效果^[4]。

3 实例验证与效果分析

3.1 工程概况

本次选取两类具有典型负荷特性的建筑作为实例验证对象,分别为综合医院建筑与超高层多功能建筑。综合医院总建筑面积64 000平方米,按功能划分为行政办公区4 000平方米、门诊医技区20 000平方米、住院区40 000平方米,建筑层数分别为5层、5层、20层,体型系数依次为0.35、0.10、0.10,负荷受人员流量与医疗设备运行影响显著。超高层多功能建筑总建筑面积45 000平方米,地上24层、地下4层,涵盖办公、商业、会议等业态,采用框架剪力墙结构。两类建筑均处于气候波动较大区域,冷热负荷联动变化明显,具备良好的验证代表性。

3.2 设计方案实施

在依据冷热负荷联动特性分析所得结果的情况下,两类建筑均依照优化后的节能设计框架来推进实施工作。在负荷计算阶段,严格以建筑节能通用规范作为参照,结合建筑功能去设定差异化的基础参数,像门诊医技区有着0.3人/平方米的人员密度以及40立方米/(小时·人)的新风量,住院区人员密度为0.2人/平方米、新风量为50立方米/(h·人),行政办公区人员密度是0.1人/平方米、新风量为30立方米/(小时·人),同时引入针对性的影响幅度系数来提升计算的精准度。

在控制策略方面,综合医院将气候补偿器部署于供热主回路,对室外温度进行实时监测并据此对供水温度实施动态调节;超高层建筑则开展分时分区控制工作,依照使用时段和区域重要性的不同,对运行负荷进行差异化设定。于系统配置而言,两类建筑都把高效离心式冷水机组选作冷源,同时搭配变频离心泵与全热回收新风机组,综合医院根据功能分区设置独

全控制系统，超高层建筑采取分层供能模式。

设备选型与参数匹配严格依据负荷计算结果，核心

设备参数如表 1 所示，确保设备运行与负荷联动变化精准适配。

表 1 核心空调设备选型及技术参数

设备类型	型号	额定容量 / 性能指标	适用区域
离心式冷水机组	YKDCQ75CMF	制冷量 5 278 kW, 供回水温度 7 °C / 12 °C	两类建筑通用
变频离心泵	ZWG250315	流量 350 立方米 / 小时, 扬程适配系统阻力	两类建筑通用
全热回收新风机组	—	热回收效率 ≥ 75%, 噪声 ≤ 40 dB	综合医院住院区
超低噪声冷却塔	CTA340UFWWS	冷却水量 420 立方米 / 小时	超高层建筑屋顶
风机盘管	SP-85	额定风量 650 立方米 / 小时, 功率 81 W	超高层建筑办公区

在系统安装调试阶段，重点对负荷联动响应机制进行校验，让气候补偿器与分时分区控制逻辑实现有效衔接，使新风量调节与人员密度变化做到实时同步，使设备运行参数可根据负荷预测结果提前做出调整，实现冷热负荷与系统运行的动态适配^[5]。

3.3 节能效果验证

两种建筑在连续进行三个供暖季和两个制冷季后进行的能耗及舒适性测试中，借助传统设计及当前优化设计进行，从而证明节能效果。从能耗数据可以看出，综合医院暖通空调系统能耗较传统方案减少 12.3%，超

高层建筑减少 10.7%，特别是供暖季节燃气节约量分别高达 15 600 立方米和 12 400 立方米，这两个数字加起来超过了 28 000 立方米。

在舒适性方面，两种建筑的室内温度稳定保持在 22 ~ 26 °C 的区间内，相对湿度控制在 60% ~ 65%，噪声低至 40 dB 以下，适应了各功能区域的需求，详细的数据比较可以参考表 2。结果显示，优化的建筑设计能够在减少能源消费的同时，不损害室内舒适性，达到了双重目的，即在保持室内舒适性的前提下实现了较低的能源消耗。

表 2 两类建筑节能与舒适性指标对比

指标类型	综合医院 (优化后)	综合医院 (传统方案)	超高层建筑 (优化后)	超高层建筑 (传统方案)
系统能耗降低率	12.3%	—	10.7%	—
供暖季燃气节约量 (立方米)	15 600	—	12 400	—
室内平均温度 (°C)	24.2	23.8	24.5	24.1
室内平均湿度 (%)	59.3	58.7	58.9	57.8
室内平均噪声 (dB)	38.6	39.1	37.8	38.5

监测数据充分证明，基于冷热负荷联动的节能设计方案具备显著可行性与应用价值，能有效提升能源利用效率。

4 结束语

本文通过对建筑型式冷热负荷联动特性与影响因素的分析，搭建起一个综合负荷计算、控制策略与系统配置暖通空调节能设计架构，并通过实例加以验证，该架构在显著降低系统能耗的前提下，兼顾舒适性与经济性，这一研究成果对提供符合实际的暖通空调节能技术路线，响应业界绿色、低碳发展需求至关重要。未来可进一步优化负荷连锁的预测算法，在人工智能技术支持下提高控制精度，同时对可再生能源与冷热负荷连锁深度融合问题进行探索，为建筑节能提供更高层次的技术支撑。

参考文献:

- [1] 韩鑫. 试论高层建筑暖通空调系统节能技术的应用[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2022(07):127-129.
- [2] 白庚宇. 低能耗超高层住宅建筑暖通空调设计[J]. 中国厨卫, 2025, 24(09):283-286.
- [3] 刘楠. 综合医院建筑暖通空调系统设计问题与对策[J]. 现代工程科技, 2023, 02(03):97-100.
- [4] 王菲. 暖通空调设备安装及调试对策研究[J]. 工程设计与施工, 2023, 05(06):93-95.
- [5] 周思宇. 成都地区医院建筑暖通空调冷热负荷影响因素分析[J]. 福建建材, 2025(04):94-96.