

# 智能建筑中暖通系统优化设计研究

孙士坤

中国建筑技术集团有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i10.5109

**[摘要]** 智能建筑暖通系统的优化设计涉及负荷特性解析、系统架构配置、控制算法集成与节能路径拓展等多个维度。本文围绕暖通系统在智能建筑中的运行机理展开论述,分析建筑热湿负荷的时空分布规律与动态需求特征,探讨冷热源系统选型、输配管网与末端设备的匹配策略,剖析传感网络搭建与多算法协同控制的技术路径,并从变频调速、免费冷源利用及全生命周期成本等角度梳理系统节能的优化方向,为暖通系统在智能建筑中的精细化设计提供系统性的理论参照。

**[关键词]** 智能建筑; 暖通系统; 负荷特性; 优化设计; 节能路径

中图分类号: TU831 文献标识码: A

## Research on the Optimization Design of HVAC Systems in Intelligent Buildings

Shikun Sun

China Construction Technology Group Co., Ltd.

**[Abstract]** The optimization design of HVAC systems in intelligent buildings involves multiple dimensions, including load characteristic analysis, system architecture configuration, control algorithm integration, and expansion of energy-saving approaches. This paper discusses the operational mechanisms of HVAC systems in intelligent buildings, analyzes the spatiotemporal distribution patterns and dynamic demand characteristics of building thermal and moisture loads, and explores matching strategies for cooling and heating source selection, distribution pipe networks, and terminal equipment. It further examines the technical approaches for sensor network deployment and collaborative control using multiple algorithms. From the perspectives of variable-frequency speed regulation, utilization of free cooling sources, and life-cycle cost management, the paper summarizes optimization directions for energy conservation, providing a systematic theoretical reference for the refined design of HVAC systems in intelligent buildings.

**[Key words]** Intelligent Building; HVAC System; Load Characteristics; Optimization Design; Energy-Saving Approach

### 引言

智能建筑的快速推进对暖通系统提出了更高的运行精度与能效要求,传统固定工况的设计思路已难以适配建筑内部复杂多变的热湿环境。暖通系统作为建筑能耗的主要载体,架构配置与控制逻辑直接关联室内舒适水平与整体用能效率。负荷特性的动态波动、多系统间的运行耦合以及设备在部分工况下的适配难题,构成暖通优化设计需要回应的核心命题。针对行业现存的技术短板与运行矛盾展开系统性探讨,有助于推动暖通设计从经验驱动向数据驱动的范式转变。

### 1 暖通系统负荷特性与动态需求分析

#### 1.1 建筑热湿负荷的时空分布规律

建筑内部热湿负荷具备显著的时空变化特征,会跟随外界气候更迭与建筑空间区位差异产生规律性波动。自然环境的温

湿度昼夜变换与季节更替,会持续改变建筑腔体内部的热量、湿气积聚程度,推动负荷水平呈现规律性起伏<sup>[1]</sup>。建筑空间的划分形式、区域体量大小以及封闭通透程度存在区别,造就热湿负荷在建筑全域范围内呈现非均匀分布态势。建筑界面与外界空气、光照的交换程度不同,进一步拉大不同功能区域的负荷差值,形成层次分明的空间分布特点。气候环境的时序变动与建筑构造的空间差异,共同塑造热湿负荷的基础变化特征,支撑暖通设计工作开展。

#### 1.2 人员密度与功能场景对负荷的影响机制

建筑内部空间的使用状态与人流聚集规模,会深刻影响热湿负荷的动态变化态势。人体活动代谢过程会持续向周边空间释放热能与水汽,人流聚集规模的增减会改变空间内热湿源的整体强度,带动负荷状态发生浮动变化。不同功能属性的建筑空

间具备专属使用模式,空间运行过程中产生的设备散热、空气流通变化以及湿度增减,都会对暖通负荷产生持续作用。空间使用模式的切换会调整室内产热产湿的总体规模,让暖通运行需求保持动态浮动,构建出稳定的负荷影响传导路径。

### 1.3 围护结构传热与太阳辐射的耦合效应

建筑围护结构承担建筑内外热能传递的主要功能,自身传热性能直接决定室内热湿负荷的基础数值。墙体、门窗、屋面等围护结构构件的原材料导热属性与搭建构造方式,直接把控建筑内外热能交换的整体效率。太阳辐射能量持续投射于建筑外围护结构,向建筑内部输送外部热能,调整围护结构内外温差与热量传递速度。两类物理过程深度交融、互相影响,持续改变建筑内部热能积聚状态,形成稳定的耦合作用关系,持续干预室内热湿负荷的动态变化节奏。

### 1.4 动态负荷预测模型的构建方法

动态负荷预测模型的搭建工作,需要依托建筑负荷的变化规律及各类干扰因素开展搭建。模型搭建阶段需要整合建筑构造参数、外部环境变动参数以及室内空间扰动参数,搭建完整完备的参数体系。细致梳理各类参数与热湿负荷的内在关联,构建适配建筑常态运行状态的运算逻辑。规范完整的运算逻辑可以支撑模型主体框架搭建,精准捕捉建筑暖通负荷的动态变化状态,为暖通系统优化设计提供可靠的数据支撑,适配智能建筑暖通体系精细化运行的整体需求。

## 2 暖通系统架构与设备选型策略

### 2.1 冷热源系统的多方案比选逻辑

冷热源系统构筑暖通体系能量供给的核心载体,整体配置方式直接影响暖通架构的运行质量与适配水平。各类冷热源设备拥有差异化的能量转换机理与运行属性,能够对应建筑不同的负荷变化特征<sup>[2]</sup>。冷热源方案筛选工作需要结合建筑负荷体量、负荷波动规律以及场地建设条件开展推进。重点衡量设备能量转换效率、日常运行能耗以及空间占用条件等关键指标,挑选适配建筑长期运行状态的配置形式。结合智能建筑的发展建设需求,甄别不同冷热源组合方式的应用潜力,搭建规范完整的选型评判逻辑,完成冷热源方案的科学筛选与合理布局。

### 2.2 输配管网与末端设备的匹配关系

暖通体系的稳定运行依托输配管网与末端设备的高度协同。输配管网负责冷热介质的输送与分配工作,管路布置形式、管径规格参数以及布设疏密程度,都会改变介质输送的流量状态与压力稳定性。末端设备承担室内热量与湿气的交换工作,设备规格参数、换热能力强弱以及布设密度,需要匹配管网输送的介质工况参数。输送体系与换热体系保持良好协同,能够减少介质输送损耗,规避换热不充分等各类运行问题。结合建筑空间结构与负荷分布特点,统筹调整管网输送参数与末端设备工作参数,实现暖通输配与换热体系的高效适配衔接。

### 2.3 变频技术与多级调控的集成路径

智能暖通体系的精细化运行依托新型调控技术的融合应用

实现升级。变频技术能够跟随暖通负荷的动态变化调整设备运行工况,打破传统设备固定转速运行的单一模式。多级调控机制针对建筑不同区域的用能需求,划分梯度化的控制层级,适配差异化的空间负荷变化。变频调速机制融入多级调控体系,可以丰富暖通设备的调控维度,细化设备运行的工况梯度。依据负荷动态变化节奏调整调控逻辑,打通变频调节与层级化控制的联动通道,让暖通设备灵活适配复杂多变的室内负荷工况,提升系统整体运行的精细度与适配性。

### 2.4 系统冗余设计与部分负荷运行适配

建筑暖通设备多数运行时段均处于非额定的部分负荷状态,传统固定配置模式难以适配动态波动的负荷需求。冗余设计通过预留合理的设备容量与运行余量,增强暖通体系应对负荷波动与工况变动的容错能力。合理设置冗余容量可以缓解设备长期高负荷运行引发的能耗攀升与工况失衡问题。结合建筑负荷整体波动区间界定冗余配置规模,让预留的设备资源可以覆盖不同幅度的部分负荷工况。优化冗余设备的启停策略与运行配比模式,保障暖通系统在各类非额定工况下维持平稳高效的运行状态,强化暖通整体架构的运行稳定性与环境适配能力。

## 3 智能控制算法与多系统协同机制

### 3.1 传感网络的布置与数据采集体系

智能暖通控制体系的运行基础依托高精度传感网络搭建实现。传感节点的布设方式直接决定建筑内部环境数据的采集精度与覆盖范围,科学的点位分布可以捕捉空间内部温湿度、空气流速、空气质量等多项环境参数的细微变化<sup>[3]</sup>。传感网络的搭建需要结合建筑空间功能分区与负荷分布特征,完善全域化的数据采集布局。标准化的数据采集体系能够持续捕捉室内外环境动态变化信息,为控制算法的运算推演提供完整的数据支撑。稳定的数据传输与采集机制可以保障暖通控制环节对环境状态的精准感知,支撑后续调控策略的有效落地。

### 3.2 PID与自适应控制在温湿度调节中的应用

现代智能暖通调控体系依托多种控制算法完成环境参数的精准校准。PID控制可以依托参数偏差量完成动态修正,稳定室内温湿度的基础运行参数,弱化环境扰动带来的参数波动。自适应控制能够跟随建筑环境与负荷状态的动态变化,自主调整算法运算参数,适配复杂多变的室内运行场景。两类控制方式形成互补运行模式,弥补单一调控算法应对复杂工况的运行短板。算法融合应用可以优化暖通设备的调节精度,弱化环境干扰带来的调控偏差,让室内温湿度参数维持平稳合理的运行状态。

### 3.3 暖通与照明、遮阳系统的联动逻辑

智能建筑内部各类机电系统存在深度的运行关联,单一系统独立运行难以适配建筑整体节能与舒适化需求。遮阳系统可以调节建筑采光与太阳辐射进入体量,改变围护结构的热量输入状态,间接影响室内冷热负荷大小。照明系统运行过程中产生的散热会改变室内热环境状态,对暖通调节工作产生间接影响。搭建多系统联动运行逻辑,可以根据自然光强度、照明运行状态调整暖通设备的运行工况。跨系统的运行联动能够弱化外部环

境干扰,平衡室内舒适水平与能源消耗,实现建筑机电体系的一体化运行调控。

### 3.4 预测性控制与需求响应的协调策略

传统暖通调控模式多依托实时环境参数开展被动调节,整体调控存在滞后性弊端。预测性控制可以依托环境变化规律与负荷变动特征,提前推演后续时段的负荷变化趋势,前置调整暖通设备运行状态。需求响应围绕建筑用能整体状态优化设备运行模式,合理调配暖通系统的用能节奏。两类调控模式相互配合可以弱化负荷峰值带来的运行压力,优化暖通系统的整体用能结构。科学的协调策略能够提升暖通系统对建筑用能场景的适配能力,提升智能建筑暖通体系运行的主动性与高效性。

## 4 节能路径与运行优化方法

### 4.1 风机水泵的变频调速与管网阻力平衡

风机与水泵作为暖通输配体系的核心动力设备,长期固定转速运行模式会产生大量无效能耗损耗<sup>[4]</sup>。变频调速技术能够依据输配管网的介质流量需求调整设备运行转速,匹配系统实时的负荷输送需求,削减额定工况运行带来的能源浪费。管网内部管路布局、弯头数量以及阀门开合程度会形成不同程度的输送阻力,阻力分布不均会造成管路流量分配失衡,增加动力设备的运行负荷。针对性开展管网阻力平衡调整,统一管路输送阻抗水平,优化介质输送的流畅程度。动力设备调速机制与管网平衡调整相互搭配,能够降低输配系统整体能耗,提升暖通介质输送体系的运行效率。

### 4.2 免费冷源利用与蓄能策略的设计方法

自然环境中存在的低温空气与浅层冷量资源,可作为暖通系统的辅助冷源,替代人工冷源完成室内降温作业。合理挖掘自然冷源的利用时段与利用场景,能够减少人工冷源设备的启动时长与运行负荷。蓄能设计可以在建筑负荷偏低的时段储存多余冷量,负荷高峰阶段释放储存冷量补充用能缺口。科学规划蓄能设备的储放能节奏,贴合建筑负荷的波动规律,错开高能耗时段的设备集中运行。自然冷源开发与蓄能体系相互配合,拓展暖通系统的节能渠道,弱化高峰时段的能源消耗强度。

### 4.3 系统能效比提升的关键参数调控

暖通系统能效水平的提升依托多项核心运行参数的精细化调控实现。供水回水温度差值、设备运行转速、室内设定工况参数以及新风输送比例,都会直接干预系统整体能效表现。稳定

合理的供回水温差可以减少设备频繁启停带来的能耗损耗,适配动态负荷变化调整新风输送体量,规避过量新风处理造成的能源消耗。结合建筑环境变化状态微调各项运行参数,让设备始终保持高效的运行工况。精细化的参数调控模式可以改善暖通系统的用能结构,持续提升整套暖通体系的能量利用效率。

### 4.4 全生命周期运行成本的优化方向

暖通系统的成本管控需要覆盖设备长期运行的完整周期,单一阶段的节能优化无法实现长效成本控制。日常运行能耗、设备维护检修、工况损耗更新都会构成暖通系统的运行成本主体。围绕设备耐久运行需求规划合理的运维节奏,减少故障损耗带来的额外开支。结合季节负荷变化调整系统运行模式,压缩长期能耗支出体量<sup>[5]</sup>。依托智能化调控手段优化设备运行工况,延缓设备老化速度,延长设备有效使用周期。多维度的优化模式可以持续压缩暖通系统全周期投入成本,实现暖通体系经济运行与节能运行的双向提升。

## 5 结束语

暖通系统优化设计是一项贯穿负荷分析、架构配置、智能控制与节能运行的系统工程。从动态负荷的精准捕捉到冷热源方案的合理比选,从多算法协同控制到变频调速与蓄能策略的综合运用,各环节彼此衔接、协同发力,共同支撑智能建筑暖通体系的高效运转。全生命周期视角下的成本优化与参数精细化调控,为系统长期稳定运行奠定了技术基础。各设计路径的系统整合,能够切实提升暖通系统在智能建筑中的适配能力与能效表现。

### [参考文献]

- [1]韩鹏.智能建筑暖通空调系统优化策略[J].中国高新技术,2022(5):122-123.
- [2]蔡福东.绿色建筑理念下的暖通系统优化设计研究[J].新城建科技,2024,33(7):58-60.
- [3]白麟.面向低碳建筑的暖通系统多目标优化设计研究[J].中国新技术新产品,2026(9):101-103.
- [4]郝永文.智能建筑中暖通空调系统优化设计路径探讨[J].世界家苑,2025(22):187-189.
- [5]赵薇,李伟.绿色建筑理念在建筑暖通空调系统节能设计中的应用[J].建筑与施工,2023,2(20):28-29.