

智能控制在暖通空调工程中的应用研究

吴建平

江西省商业建筑设计院有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i10.5045

[摘要] 随着建筑节能与室内舒适化需求的不断提升,智能控制在暖通空调工程中的核心价值日益凸显。阐述模糊控制、神经网络等核心智能控制技术的应用原理,分析其在制冷、供热、通风及空调水系统中的具体实践,从控制算法、传感器网络、系统集成及运行维护四个维度提出优化策略,为提升暖通系统能效与运行稳定性、推动行业绿色智能化转型提供技术支撑。

[关键词] 智能控制技术; 暖通空调; 能效优化; 系统集成

中图分类号: TU831 **文献标识码:** A

Research on the Application of Intelligent Control Technology in HVAC Engineering

Jianping Wu

Jiangxi Commercial Architectural Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] With the continuous improvement of building energy efficiency requirements and indoor comfort demands, the core value of intelligent control technology in HVAC engineering has become increasingly prominent. This paper introduces the application principles of key intelligent control technologies such as fuzzy control and neural networks, and analyzes their practical applications in refrigeration, heating, ventilation, and air-conditioning water systems. Optimization strategies are proposed from four aspects: control algorithms, sensor networks, system integration, and operation and maintenance. The study aims to provide technical support for improving the energy efficiency and operational stability of HVAC systems and promoting the green and intelligent transformation of the industry.

[Key words] Intelligent Control Technology; HVAC; Energy Efficiency Optimization; System Integration.

引言

暖通空调系统是现代建筑不可或缺的基础设施,同时也是建筑能耗的主要贡献者。传统固定参数控制方式存在响应滞后、负荷适应性差、能效偏低等短板,难以同时满足室内环境舒适度与能源高效利用的双重要求。智能控制技术凭借其非线性处理、自适应学习与智能决策能力,为破解这一行业痛点提供了有效路径。围绕核心技术原理、系统应用及优化路径展开分析,可为暖通空调工程的智能化升级提供实践参考。

1 智能控制在暖通空调工程中的重要性

智能控制在暖通空调工程中扮演着核心角色,其通过精准感知与动态调节实现系统高效运行,该技术依托传感器网络实时采集温湿度、空气质量等参数,结合算法模型优化设备启停、风量调节及冷热源分配,降低无效能耗。在复杂工况下,自适应控制策略可应对负荷波动,维持室内环境稳定,提升人体舒适度;同时,智能诊断模块能预判设备故障,提前预警维护需求,延长设备寿命。技术迭代推动暖通系统向智能化、绿色化转型,减少资源浪费,契合可持续发展需求;其重要性不仅体现在节能

降本,更在于通过技术创新推动行业技术升级,为建筑环境调控提供更科学、更精准的解决方案^[1]。

2 暖通空调工程中核心智能控制技术

2.1 模糊控制技术原理

模糊控制技术通过模拟人类模糊推理过程实现暖通空调系统的智能调控。其核心在于将精确的输入变量(如温度偏差、湿度变化率)转化为模糊语言变量,如“偏高”“偏低”“适中”等,并基于预设的模糊规则库进行逻辑推理。模糊规则库由专家经验或系统自学习生成,涵盖不同工况下的控制策略,如“若温度偏高且持续上升,则增大制冷量”;推理结果为模糊控制量,需通过解模糊化模块转化为精确控制信号,驱动风机转速、阀门开度等执行机构动作。该技术擅长处理非线性、时变性的系统特性,在负荷波动频繁、环境参数模糊的场景中,能实现更平滑的调节过渡,提升系统稳定性与人体舒适度,同时降低因频繁启停造成的能耗浪费,推动暖通空调向自适应、智能化方向演进。

2.2 神经网络控制技术原理

神经网络控制技术通过模拟人脑神经元连接方式构建非线性映射模型,实现暖通空调系统的自适应调控。其核心在于多层感知器或卷积网络对输入参数(如温度、湿度、负荷变化)进行特征提取与模式识别,通过反向传播算法优化权重参数,使输出控制信号更贴合系统动态特性,该技术擅长处理高维、非线性数据关系,在负荷预测、故障诊断、能效优化等场景中表现突出。例如,通过训练神经网络模型可精准预测未来时段冷热负荷需求,提前调整设备运行策略,避免能效浪费;同时,自适应学习机制使系统能持续适应环境变化与设备老化,维持长期稳定运行。神经网络控制技术推动了暖通空调从被动响应向主动智能调控的转型,为复杂工况下的精准控制提供了技术支撑^[2]。

2.3 专家系统控制技术应用原理

专家系统控制技术依托知识库与推理引擎实现暖通空调的智能决策。知识库集成领域专家经验与设备运行规则,如温度调节阈值、设备故障特征、能效优化策略等,形成结构化知识体系。推理引擎基于当前系统状态(如实时温湿度、设备运行参数)匹配知识库规则,通过正向或反向推理生成控制指令;例如,当检测到某区域温度持续偏高且风机转速已达上限时,系统可调用知识库中“检查制冷剂压力”或“调整阀门开度”的规则进行推理。该技术擅长处理基于规则的复杂决策问题,在故障诊断、能效优化、运行策略调整等场景中表现稳定。其优势在于将专家经验转化为可复用的知识资产,提升系统决策的透明性与可解释性,同时降低对人工经验的依赖,推动暖通空调控制向知识驱动型智能系统演进。

2.4 自适应控制技术应用原理

自适应控制技术通过实时调整控制参数,使暖通空调系统在动态环境中保持最优运行状态。其核心在于系统能自动识别环境变化(如负荷波动、设备性能衰减)并调整控制器参数,如增益系数、积分时间等,以维持设定目标,该技术通过模型参考自适应或自校正机制实现,模型参考方式将系统输出与理想模型对比,动态修正控制策略;自校正方式则基于在线辨识的系统模型优化参数。在暖通场景中,自适应控制可应对季节变化、设备老化等长期扰动,避免固定参数导致的能效下降或舒适度波动,其优势在于无需人工干预即可持续优化性能,提升系统鲁棒性与长期稳定性,推动暖通控制从静态设定向动态智能调节升级,为复杂工况下的高效运行提供技术保障。

3 智能控制在暖通空调各系统的应用

3.1 在空调制冷系统中的应用

智能控制在空调制冷系统中实现精准能效调控与动态适应。通过传感器实时监测蒸发温度、冷凝压力、制冷剂流量等参数,结合模糊控制或神经网络算法优化压缩机转速、电子膨胀阀开度及冷凝风扇调速,维持系统在最佳能效比区间运行。自适应控制技术可应对负荷突变,如人员密集导致的瞬时热负荷增加,自动调整制冷量输出,避免温度波动;专家系统则集成设备运行规则与故障特征库,在制冷剂泄漏、压缩机过载等异常工况下快速诊断并触发保护机制。这些技术协同作用,不仅提升制

冷效率与室内环境稳定性,还能降低设备磨损与能耗浪费,推动制冷系统向智能化、绿色化方向演进,为建筑节能与舒适体验提供核心技术支撑。

3.2 在采暖供热系统中的应用

智能控制在采暖供热系统中实现动态温控与能效提升。通过温度传感器实时采集室内外温差、供热介质温度及散热器表面热分布,结合模糊控制算法动态调节循环泵转速、阀门开度及锅炉燃烧强度,维持室内恒定舒适温度区间。神经网络模型可基于历史数据预测热负荷变化,提前优化供热策略,减少能源浪费;自适应控制技术应对设备老化与季节温差,自动修正控制参数,维持系统高效运行;专家系统集成设备运行规则与故障特征库,在管道泄漏、循环泵异常等工况下快速诊断并触发保护机制,降低设备损耗风险。这些技术协同作用,提升供热效率与室内环境稳定性,减少无效能耗,推动采暖系统向智能化、绿色化方向演进,为建筑节能与舒适体验提供技术支撑。

3.3 在通风换气系统中的应用

智能控制技术通过精准感知与动态调节优化通风换气系统运行效能。传感器实时监测室内空气品质参数,如二氧化碳浓度、温湿度及颗粒物含量,结合算法模型分析环境需求,自动调节风机转速与风阀开度,实现按需供风。自适应控制算法可根据人员活动密度、时段特征动态调整通风策略,如办公时段强化新风引入,夜间低负荷时降低能耗;模糊逻辑控制器处理非线性参数变化,在温湿度波动较大场景下维持系统稳定性。无线通信模块支持设备间协同控制,多区域系统通过数据交互实现全局优化,避免局部过载或资源浪费;故障预测功能通过运行数据分析提前识别潜在问题,如风机异常振动或滤网堵塞,触发预警并自动切换备用模式,保障系统连续运行。技术迭代推动设备小型化与模块化设计,适配不同建筑空间需求,提升系统灵活性与可维护性,形成高效、节能、稳定的通风换气解决方案。

3.4 在空调水系统中的应用

智能控制在空调水系统中实现动态能效优化与精准调控。通过温湿度传感器实时监测冷冻水流量、温度及末端负荷变化,结合模糊控制算法建立预测模型,动态调整主机参数与冷媒流量,解决传统压差/温差控制滞后问题。自适应算法基于历史负荷数据预测未来需求,实现变流量控制使供冷量与末端需求匹配,降低无效能耗;多机组并联时,系统根据负荷率与主机效率特性选择最佳运行台数组合,并联动水泵系统通过实时计算流量需求推算最优水泵台数及频率,降低泵组能耗。结合无线传感器网络与数据融合技术,整合温湿度、光照等多源数据,提升环境感知精度,通过自适应控制算法动态优化参数,维持系统高效稳定运行,推动空调水系统向智能化、绿色化方向演进^[3]。

4 智能控制在暖通空调工程中的优化

4.1 控制算法的优化改进

控制算法优化聚焦提升系统动态响应与能效表现。改进模糊控制规则库的细化程度,增强对复杂工况的适应性,减少温度波动与能耗浪费;神经网络算法引入卷积层或循环层,提升对时

序数据的特征提取能力,优化负荷预测精度,实现更精准的制冷/制热输出。自适应控制通过在线参数调整机制,应对设备老化与环境变化,维持长期稳定运行;结合粒子群优化或遗传算法优化控制器参数,提升全局搜索能力,避免局部最优陷阱。这些优化策略协同作用,提升系统响应速度与能效比,降低无效能耗,推动暖通空调控制技术向更高效、更智能的方向演进,为建筑节能与舒适体验提供算法支撑,同时减少设备损耗,延长系统寿命^[4]。

4.2 传感器网络的优化配置

传感器网络优化配置聚焦提升环境感知精度与系统响应效率。通过合理选择传感器类型及布局策略,实现关键参数的全覆盖监测,避免监测盲区与数据冗余。采用多传感器数据融合技术,如卡尔曼滤波或神经网络融合算法,对温湿度、光照、人员密度等多源数据进行协同处理,提升环境状态识别的准确性;优化传感器抗干扰能力,通过电磁屏蔽设计、信号调理电路改进及动态校准算法,降低环境噪声与设备干扰对数据质量的影响;结合无线通信技术与边缘计算节点,实现数据实时传输与本地预处理,减少延迟并提升系统响应速度。这些优化策略协同作用,提升环境感知精度与系统控制效率,为智能控制算法提供可靠数据支撑,推动暖通空调系统向更精准、更高效的智能调控方向演进。

4.3 系统集成的优化设计

系统集成的优化设计聚焦提升多设备协同效率与整体能效表现。通过模块化架构设计实现各子系统(如制冷、供热、通风)的解耦与灵活组合,增强系统扩展性与维护便捷性;统一通信协议与数据接口标准,确保设备间无缝对接与信息实时交互,避免数据孤岛与控制延迟。构建中央控制平台整合多源数据(如温湿度、能耗、设备状态),结合智能算法实现全局优化调度,提升能源利用效率;优化冗余设计与故障切换机制,保障系统高可用性。这些设计策略协同作用,推动暖通空调系统从单一功能集成向智能协同优化升级,提升运行效率与可靠性,为建筑节能与舒适体验提供系统级技术支撑,同时降低全生命周期成本^[5]。

4.4 运行维护的优化管理

运行维护优化管理聚焦设备全生命周期健康管理及能效提升。通过智能传感器实时采集设备运行参数(如振动、温度、电流),结合机器学习算法构建故障预测模型,提前识别潜在故障并触发预警,减少非计划停机风险。优化维护策略,根据设备状态分级制定保养计划,实现从“定期维护”向“状态维护”转型,降低维护成本;结合能耗监测数据,分析设备能效衰减规律,动态调整运行参数以延缓性能退化。通过数字孪生技术构建虚拟设备模型,模拟不同维护策略下的性能表现,辅助决策最优维护方案,这些措施协同作用,提升设备运行可靠性,延长使用寿命,降低全生命周期成本,推动暖通空调系统向预测性、智能化的维护管理方向演进。

5 结束语

智能控制技术的深度应用,重塑了暖通空调系统的运行逻辑,显著提升了能源利用效率与室内环境调控精度。通过算法迭代优化、传感器网络升级、系统集成重构及运维管理智能化,可进一步挖掘系统节能潜力,延长设备全生命周期。未来随着人工智能与物联网技术的持续发展,暖通空调系统将向全域感知、自主决策的方向演进,为建筑领域低碳转型提供坚实的技术保障。

[参考文献]

- [1] 韦权刚. 智能控制技术在暖通空调节能运行中的应用与优化[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2025(3):33-36.
- [2] 侯振华. 物联网技术在暖通空调系统智能监控中的应用研究[J]. 张江科技评论, 2025(8):44-46.
- [3] 杨子玉. 空调暖通安装中的智能监测技术与施工质量控制方法探讨[J]. 家电维修, 2025(2):95-97.
- [4] 马利红. 自动控制在暖通空调冷冻水系统中的应用及节能研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2025(7):093-096.
- [5] 徐露露. 智能暖通空调系统在节能管理中的应用研究[J]. 陕西建筑, 2025(8):156-160.